

Liikkumisen ja kokemusten yhteys virtuaaliympäristöissä

Psykologian pro gradu -tutkielma (41 s + 3 ls)

Ohjaaja: Göte Nyman

Helmikuu 2007

Heikki Tapio Särkelä

ESIPUHE

Tämä tutkimus on osa Psychology of Digital Life -tutkimusryhmän virtuaaliympäristöjen tutkimushanketta. Tutkimuksen aineisto on kerätty osana Jari Takatalon lisensiaatintyötä yhteistyöprojektissa, jossa oli mukana CSC - Tieteellinen laskenta Oy, Helsingin Teknillisen korkeakoulun tietoliikenneohjelmistojen ja multimedian laboratorio sekä Helsingin yliopiston Psykologian laitos. Työn sisällöllisestä ohjaamisesta kuuluu suuri kiitos Jari Takatalolle. Ohjaajaani Göte Nymania sekä Jeppe Komulaista ja Jukka Häkkistä kiitän erityisesti ehtymättömästä ideoinnista ja yhteistyöverkoston luomisesta. Patrick Maylle kiitos analyysimenetelmän perinpohjaisesta ja kärsivällisestä opettamisesta. Liikeaineiston tallentamisesta ja analyysipohjan luomisesta kuuluu kiitos Mikko Laaksolle ja Tommi Ilmoselle. Lisäksi kiitoksen ansaitsevat Leena, vanhemmat ja ystävät kannustuksesta ja kärsivällisyydestä.

Helsingissä 7.2.2007

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
1.1 Virtuaaliympäristöt	2
1.2 Virtuaaliympäristössä liikkuminen ja simulaattorisairaus	4
1.2.1 Liikkumisen mallintaminen	5
1.2.2 Informaatioentropia ja liikkuminen	6
1.3 Virtuaaliympäristöjen kokeminen	8
1.3.1 Läsnäolon tunne	8
1.3.2 Flow.....	10
1.4 Tutkimusongelmat	12
2 MENETELMÄT	13
2.1 Koehenkilöt	13
2.2 Käytetty teknologia.....	13
2.3 Tutkimuksen kulku	14
2.4 Entropian soveltaminen liikkumisen tarkastelussa.....	16
2.5 Arviointimenetelmät	18
2.6 Tilastolliset menetelmät	20
3 TULOKSET	21
3.1 Liikkumistavat virtuaaliympäristössä	21
3.2 Liikkumistapojen yhteys kokemuksiin	23
4 POHDINTA	27
4.1 Liikkumistapojen mallintaminen.....	27
4.2 Liikkumisen rooli kokemuksissa	28
4.3 Tutkimuksen rajoitukset ja jatkotutkimusehdotukset	31
4.4 Loppupäätelmät	32
Lähteet:	34
Liitteet:.....	42

1 JOHDANTO

Kuvittele tilanne, jossa olet ystäväsi kanssa huvipuistossa ajamassa törmäilyautoilla. Ystäväsi kääntelee rattia riemuissaan, kun taas sinun autosi ei ohjailustasi huolimatta tunnu menevän haluamaasi suuntaan, ja koko kokemus on mielestäsi epämiellyttävä. On ilmeistä, että liikkumisen sujuvuus vaikuttaa sinun ja ystäväsi kokemuksen laatuun. Mutta miten tätä kokemusta tulisi tutkia? Kokemuksia on pyritty selittämään milloin introspektion avulla, milloin klassisen ehdollistumisen myötä. Toisissa teorioissa ihmisen toiminta määräytyy ulkoisista ärsykkeistä käsin, kun taas toisissa teorioissa kaiken taustalla on sekä tietoiset että tiedostamattomat dynaamiset prosessit (Shultz & Shultz, 2003). Koska kokemuksia on tutkittu hyvin erilaisista teoreettisista lähtökohdista, ovat myös mittausmenetelmät ja tulokset poikenneet toisistaan. Kokonaiskuvan muodostamiseksi Hilgard (1980) on korostanut tarvetta tarkastella kokemuksia laajemmin; hän ehdottaa paluuta kognitioiden, emotioiden ja motivaatiotekijöiden (*engl.* conation) yhtäaikaiseen tarkasteluun. Myös tässä lähtökohdassa on ongelmana kokemuksen operationalisointi sekä kokeellinen tutkiminen. Koska kokemus koostuu niin monesta osatekiästä, on laboratorio-olosuhteissa usein vaikeaa kontrolloida kaikkia tekijöitä. Lisäksi joidenkin kiinnostavien psykologisten ilmiöiden kokeellinen tutkiminen on mahdotonta, sillä kaikkia tilanteita ei esimerkiksi resurssirajoitusten tai eettisten tekijöiden vuoksi pystytä tutkimaan. Eräs ratkaisu on virtuaaliympäristöjen soveltaminen kokeellisessa tutkimuksessa.

Virtuaaliympäristöt ovat ekologiselta validiteetiltaan hyviä ympäristöjä tutkia ihmisen havaintotoimintoja (Modjeska & Waterworth, 2000; Waller, 2005), motorisia toimintoja (Zacharias, 2006) sekä kokemus- ja tunnemaailmaa (Germanichs, Pettit & Cartwright, 2004; Wiederhold & Wiederhold, 2003). Niiden avulla voidaan rakentaa todentuntuksia, mutta kontrolloituja koeympäristöjä (Tarr & Warren, 2002). Lisäksi virtuaaliympäristöjen avulla voidaan toteuttaa sellaisia tilanteita, kuten esimerkiksi lentokoneonnettomuuksia, joiden kokeellinen tutkiminen olisi muuten mahdotonta (Moshell, 1993). Virtuaaliympäristöt ovat siis lupaava lisä ihmisen kokemusmaailman kokeelliseen tutkimiseen. Ei kuitenkaan riitä, että rakennetaan aidonnäköinen tietokonemaailma ja mitataan, kuinka ihminen toimii tässä ympäristössä. Ensin on tunnettava, mitä erityispiirteitä virtuaaliympäristöjen käyttöön ja sen myötä saatuihin kokemuksiin liittyy. Virtuaaliympäristöjen aikaansaamia kokemuksia on tutkittu pääosin läsnäolon tunteen (*engl.* presence) käsitteen avulla (Lombard & Ditton, 1997; Schubert, Friedmann & Regenbrecht, 1999; Steuer, 1992; Witmer & Singer, 1998). Lisäksi

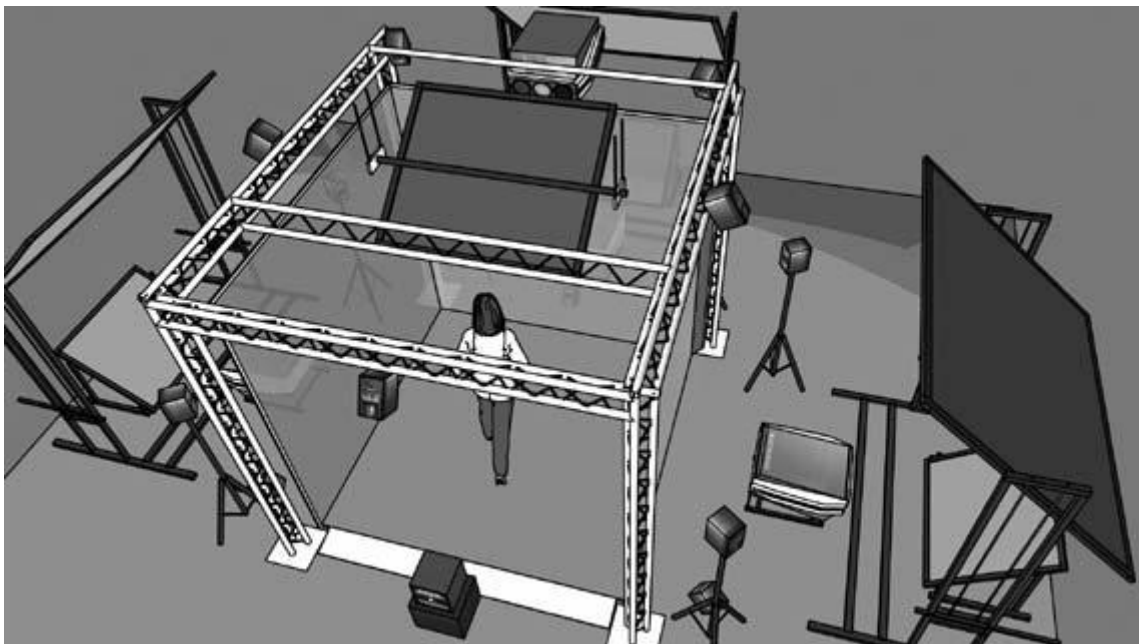
virtuaaliympäristöjen mahdollisia haittapuolia, kuten sen aiheuttamaa pahoinvointia eli simulaattorisairautta (*engl.* simulator sickness) on tutkittu runsaasti (Duh, Parker & Furness, 2001; Jones, Kennedy & Stanney, 2004; McCauley & Sharkey, 1992; Nichols & Patel, 2002).

Virtuaaliympäristöjen käyttöön ja sen myötä saatuihin kokemuksiin liittyy kuitenkin vielä avoimia kysymyksiä. Alun huvipuistoesimerkissä arveltiin liikkumisen sujuvuuden vaikuttavan kokemuksen laatuun. Toistaiseksi virtuaaliympäristöjä koskevassa tutkimuksessa ei ole tarkasteltu lainkaan käyttäjien liikkumisen yhteyttä kokemuksiin. Käytännössä on siis mahdollista, että esimerkiksi osa käyttäjien kokemuksista selittyy parhaiten heidän kyvyllään liikkua sulavasti sekä mieltää virtuaaliympäristö helppokäyttöiseksi tai päinvastoin. Selitys liikkumisen tutkimisen vähyydelle on sopivien mittausmenetelmien puute. Tässä tutkimuksessa esiteltävä informaatioentropiaa hyödyntävä liikkumisen mallintamistapa vastaa tähän puutteeseen. Liikkumisen mallintamisen avulla pyritään etsimään ja vertailemaan erilaisia liikkumistapoja. Lisäksi liikkumiselle muodostettujen tilastollisesti vertailtavien arvojen avulla tarkastellaan erilaisten liikkumistapojen yhteyttä kokemuksiin.

1.1 Virtuaaliympäristöt

Virtuaaliympäristöillä tarkoitetaan hyvin laajaa ja epäyhtenäistä määrää eri teknologioita aina Internet-sivustoista monimutkaisiin simulaattoreihin (Steuer, 1992). Yhteinen piirre eri virtuaaliympäristöille on niiden näkeminen kontekstina ihmisen ja tietokoneen väliselle vuorovaikutukselle (Stanney, Mourant & Kennedy, 1998). Puhtaasti teknologiselta kannalta tässä tutkimuksessa virtuaaliympäristöillä tarkoitetaan vuorovaikutteisia, stereoskooppiseen näyttötekniikkaan pohjautuvia tietokoneen luomia kolmiulotteisia ympäristöjä. Virtuaaliympäristöt on perinteisesti määritelty niiden luomiseen vaadittavan teknologian perusteella (esim. Biocca, 1992; Burdea & Coiffet, 2003). Teknologia- ja lähtöinen määrittelytapa on kuitenkin ongelmallinen, sillä teknologian jatkuvasti kehittyessä myös virtuaaliympäristöjen määrittelyä joudutaan vastaavasti kehittämään. Jotta vältettäisiin toistuva vaaditun teknologian uudelleenmäärittely ja korostettaisiin kokemuksellisia tekijöitä, on ehdotettu, että virtuaaliympäristöt tulisi määritellä havaitisijälähtöisestä näkökulmasta. Steuer (1992) määrittelee virtuaaliympäristön simuloituksi ympäristöksi, joka synnyttää läsnäolon tunteen. Läsnäolon tunteen kannalta keskeisimpinä tekijöinä hän esittää ympäristön interaktiivisuuden ja eloisuuden sekä käyttäjän ominaisuudet. Tällöin virtuaaliympäristöjä ei määritellä teknologian, vaan niiden synnyttämien kokemusten lähtökohdista.

Virtuaaliympäristöjä käytetään useilla eri aloilla, kuten esimerkiksi asevoimissa, lääketieteessä ja viihdeteollisuudessa. Virtuaaliympäristöjä on sovellettu muun muassa kirurgisten operaatioiden harjoittelussa (Delp, Loan, Basdogan & Rosen, 1997), määräkohteisten pelkotilojen hoidossa (esim. Wiederhold & Wiederhold, 2003), astronauttien koulutuksessa (Loftin & Kennedy, 1995) sekä kasvavassa määrin viihdeteollisuudessa (esim. Zyda, 2005). Toistaiseksi virtuaaliympäristöjen yleistymistä on hidastanut vaadittavan teknologian korkeat kustannukset, mutta tietokoneiden jatkuvasti kasvava laskentateho on saattamassa virtuaaliympäristöt myös tavallisten kuluttajien saataville (Lanier, 2001). Kuluttajille suunnatut sovellutukset ovat tavalliseen tietokoneteknologiaan pohjautuvia järjestelmiä, joissa virtuaaliympäristö rakentuu kolmiulotteisen grafiikan sekä äänimaailman varaan (Robertson, Card & Mackinlay, 1993). Näihin viitataan myös termillä non-immersiiviset virtuaaliympäristöt. Näistä voidaan erottaa sekä hintansa että vaadittavan tilan vuoksi vain ammattilaiskäyttöön tarkoitetut virtuaaliympäristöt. Tässä tutkimuksessa käytetty CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) (kuva 1) on koko käyttäjän näkökentän peittävä ”huone”, jonka seinille virtuaaliympäristö heijastetaan (Cruz-Neira, Sandin, DeFanti, Kenyon & Hart, 1992). CAVE:n kaltaisia teknologisesti monipuolisia järjestelmiä nimitetään puolestaan immersiiivisiksi, vahvan läsnäolon tunteen synnyttäviksi virtuaaliympäristöiksi (Ijsselstein, de Ridder, Freeman, Avons & Bouwhuis, 2001).



Kuva 1. Tutkimuksessa käytetty CAVE -tyyppinen virtuaaliympäristö (EVE).

1.2 Virtuaaliympäristössä liikkuminen ja simulaattorisairaus

Selvyiden takaamiseksi on syytä määritellä ero *liikkeen* ja virtuaaliympäristössä *liikkumisen* välillä. *Liikkeellä* viitataan koehenkilön motoriseen liikkeeseen koetilanteessa, kuten esimerkiksi koelaboratoriossa kävelemiseen. Virtuaaliympäristössä *liikkumisella* puolestaan tarkoitetaan niin sanottua virtuaalista liikettä eli virtuaaliympäristön käyttöliittymän välityksellä tapahtuvaa siirtymistä virtuaaliympäristössä paikasta toiseen. Jatkossa liikkumisesta puhuttaessa viitataan virtuaaliympäristössä liikkumiseen.

Virtuaaliympäristössä liikkuminen voidaan toteuttaa useilla eri käyttöliittymillä. Tyypillisin käyttöliittymä on liikkumisen ohjaaminen hiiren painikkeiden avulla (Burdea & Coiffet, 2003; Hand, 1997). Muita liikkumisen käyttöliittymiä ovat muun muassa liikkeenkaappauskamera (*engl.* tracking camera) (Rolland, Davis & Baillot, 2001), ääniohjaus (Cohen ym., 1997; Oviatt, 1997), kädellä osoittamisen perusteella ohjautuvat järjestelmät (Biocca, 1992; Tollmar, Demirdjian & Darrell, 2004) sekä erityisellä juoksumatolla kävelemiseen pohjautuva liikkuminen (esim. Iwata, 1999). Vaikka liikkumisen ohjaaminen esimerkiksi hiiren painikkeiden avulla poikkeaa aidossa ympäristössä kävelemisestä, on havaittu, että liikkuminen hyvin rakennetussa virtuaaliympäristössä on pitkälle samanlaista kuin luonnollisessa ympäristössä liikkuminen (Zacharias, 2006). Tutkimuksessa havaittiin virtuaaliympäristössä liikkumisen eroavan todellisessa ympäristössä liikkumisesta ainoastaan suuremman suuntavaiston sekoittumisalttiuden osalta. Suuntavaiston sekoittumisen puolestaan on arveltu liittyvän virtuaaliympäristöjen visuaalisten suuntavihjeiden vähyyteen (Ruddle, Payne & Jones, 1997). Näin ollen havainnot virtuaaliympäristössä liikkumisesta ovat tietysin varauksin yleistettävissä luonnollisessa ympäristössä liikkumiseen. Lisäksi nykyaikaisten sovellutusten avulla pystytään luomaan entistä todenmukaisempia virtuaaliympäristöjä, mikä mahdollistaa paremman yleistettävyyden (Tarr & Warren, 2002).

Virtuaaliympäristöjen käyttöön liittyy käytettävyyssongelmia, joita tutkitaan usein simulaattorisairauden avulla. Simulaattorisairaus on matkapahoinvoinnin kaltainen tila, joka ilmenee desorientaationa (esim. huimaus) sekä neurovegetatiivisina (esim. huonovointisuus) ja okulomotorisina (esim. päänsärky) oireina (Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal, 1993). Eksyminen sekä lievä ajan ja paikan tajun hämärtyminen eli desorientaatio ovat tyypillisimpiä käytettävyyssongelmia virtuaaliympäristöissä liikuttaessa (Sayers, 2004). Tutkimuksessa todettiin desorientaation olevan yhteydessä liian suureen liikkumisnopeuteen, minkä vuoksi

on tärkeää, että liikkumisnopeus on sopiva käytetyn ympäristön ja tehtävän suhteen. Liikkumisnopeus vaikuttaa myös illusorisen havaintokokemuksen oman kehon liikkeestä, eli vektion, määrään (LaViola, 2000). Vektion määrä on puolestaan yhteydessä simulaattorisairauden oireisiin (McCauley & Sharkey, 1992). Samassa tutkimuksessa havaittiin myös runsaasti tehtyjen nopeiden käännösten lisäävän simulaattorisairauden oireita. Lievät simulaattorisairauden oireet häviävät usein nopeasti eivätkä aiheuta merkittävää ongelmaa, mutta suuri määrä oireita johtaa usein pahoinvointiin ja vähentää virtuaaliympäristöjen käyttömukavuutta ja turvallisuutta (Nichols & Patel, 2002). Simulaattorisairauden oireita voidaan vähentää altistamalla käyttäjät virtuaaliympäristöön asteittain ja pitämällä riittävästi taukoja käyttökertojen välillä (Stanney & Hash, 1997). Lisäksi useimmat liikkumiseen liittyvät käytettävyysongelmat ovat ratkaistavissa kattavalla ohjatulla liikkumisharjoittelulla (Sayers, 2004). Käytännön koetilanteissa tähän ei aikarajoitusten vuoksi ole usein mahdollisuutta.

1.2.1 Liikkumisen mallintaminen

Liikkumisen oletetaan usein olevan päämäärätietoista siirtymistä paikasta A paikkaan B. Tämä oletus on seurausta käytetyistä koeasetelmista: kun liikkumista on tutkittu, on koehenkilöille haluttu asettaa jokin mielekäs tehtävä, kuten löytäminen tiettyihin kohteisiin (Germanchis ym., 2004; Ruddle ym., 1997). Aina ei ole kuitenkaan perusteltua olettaa, että liikkumisen taustalla on pyrkimys tiettyyn kohteeseen. Hillier ja muut (1996) rekisteröivät ihmisten liikkumista Lontoon Tate-galleriassa tutkiakseen rakennuksen arkkitehtuurin toimivuutta. Saatuja tuloksia verrattiin pelkästään arkkitehtuurin perusteella laadittuun ennusteeseen ihmisten liikkumisesta, ja havaittiin, että ihmisten liikkumista voidaan mallintaa hyvin tarkasti pelkän arkkitehtuurin avulla (Turner & Penn, 2002). Ihmiset siis liikkuvat paikasta toiseen, koska rakennuksen arkkitehtuuri mahdollisti sen. Lisäksi todettiin, että vapaan liikkumisen mahdollistava arkkitehtuuri on yhteydessä tilan kokemiseen rentouttavana ja itsenäiseen tutkimiseen kannustavana (Hillier ym., 1996). Silti pelkän arkkitehtuurin tarkasteleminen liikkumista määräävänä tekijänä ei riitä. Todellisuudessa liikkumisen taustalla saattaa olla hyvin moninaiset eri tekijät, joita ei laskennallisesti voida ottaa huomioon. Esimerkiksi virtuaaliympäristöjen käytössä usein havaitut simulaattorisairauden oireet, kuten huimaus tai pahoinvointi, saattavat johtaa siihen, että käyttäjä on paikallaan pitkiä aikoja välttääkseen vointinsa pahenemisen (Duh ym., 2001). Vaikka simulaattorisairauden esiintymiseen vaikuttavat tekijät pitkälti tunnetaan, on oireiden

ilmaantuminen yksilöllistä. Siten niiden sisällyttäminen liikkumista ennustaviin laskennallisiin malleihin on ongelmallista (Stanney & Hash, 1997).

Tutkittaessa sekä liikettä että liikkumista virtuaaliympäristöissä tutkimuksen kohteena ovat yleisemmin olleet käyttäjän kehon liikkeet hänen ollessaan virtuaaliympäristössä (Freeman, Avons, Meddis, Pearson & Ijsselsteijn, 2000; Slater, Steed, McCarthy & Maringelli, 1998). Sen sijaan käyttäjän liikkuminen virtuaaliympäristössä on jäänyt vähemmälle tarkastelulle, eikä vakiintunutta käytäntöä virtuaaliympäristössä tapahtuvan liikkumisen tutkimiselle ole muodostunut. Lisäksi määrällistä tietoa antavien mittausmenetelmien puutteen vuoksi liikkumista on tarkasteltu lähinnä laadullisten tutkimusmenetelmien avulla (Lathrop & Kaiser, 2005; Ruddle & Jones, 2001; Zambaka ym., 2004). Jotta liikkumista voitaisiin tutkia tilastollisin menetelmin, tulisi sitä mallintaa tavalla, joka mahdollistaa liikkumisen operationalisoinnin. Eräs tapa tutkia virtuaaliympäristössä liikkumista on ollut liikkumisnopeuden ja käännosten määrän keskiarvojen sekä keskihajontojen laskeminen sekä niiden perusteella muodostettujen jakaumien käyttäminen liikkumisen mittana (Slater ym., 1998). Tämän mittaustavan ongelmana on jakaumien vinous ja huipukkuus, joiden on osoitettu systemaattisesti muuttuvan liikkeen aikana ja näin ollen vääristävän saatuja tuloksia (Kim, Carlton, Liu & Newell, 1999). Ratkaisuksi on ehdotettu liikkumisen mallintamista informaatioentropian avulla (Lai, Mayer-Kress, Sosnoff & Newell, 2005).

1.2.2 Informaatioentropia ja liikkuminen

Entropia eli haje on fysikaalinen suure, joka ilmaisee epäjärjestyksen määrää systeemissä (Nyky-suomen sivistyssanakirja). Entropia on alkujaan termodynamiikassa sovellettu käsite, jolla kuvataan fysikaalisen systeemin pyrkimystä kohti suurempaa epäjärjестystä, eli pyrkimyksenä kohti termodynaamista tasapainotilaa (Clausius, 1865/1935). Myöhemmin entropian käsitettä on sovellettu muun muassa fysiikassa, kemiassa, tilastollisessa mekaniikassa, bioinformatiikassa sekä informaatioteoriassa (Sethna, 2006). Informaatioteoriassa entropia on suure, joka mittaa viestin sisältämän informaation määrää (Weaver, 1963). Viestillä tässä tarkoitetaan mitä tahansa informaatiota sisältävää kokonaisuutta, kuten esimerkiksi mittaustulosta. Entropia voidaan ymmärtää mittaustulosten sisältämän informaation tarkastelussa seuraavasti: mitä useammin saadaan jokin mittaustulos, sitä pienempi on sen tuoma informaation lisäys. Tällöin myös mittaustuloksen entropia on pieni. Esimerkkinä olkoon painotettu noppa, jota heittäessä saadaan aina kuutonen. Tällöin

mittaustuloksen (eli nopan silmäluvun) epävarmuus, informaation lisäys sekä entropia ovat nolla. Puolestaan, mitä harvemmin saadaan jokin mittaustulos, sitä enemmän se sisältää informaatiota eli mittaustuloksen entropia on suuri. Noppaesimerkissä tämä tilanne vastaa normaalia, harhatonta noppaa. Toisin ilmaistuna, mitä suurempi mittaustuloksen entropia on, sitä enemmän se sisältää satunnaisuutta ja sitä enemmän informaatiota mittaustulos antaa (Pierce, 1980). Entropia siis kuvaa mittaustulosten sisältämää keskimääräistä informaatiota. Informaatioteoriassa entropia lasketaan seuraavasti:

$$H(X) = - \sum_j p(x_j) \log p(x_j)$$

missä X on mittaustulos, joka voi saada arvot $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$. Kunkin mittaustuloksen x_j todennäköisyys on $p(x_j)$.

Informaatioentropia on suhteellisen yksinkertainen matemaattinen menetelmä, joka on sovellettavissa lukuisiin eri tutkimusongelmiin. Vaikka informaatioentropian käsite on jo liki 60 vuotta vanha, sitä on, paljolti tietokoneiden kehittymisen ansioista, vasta hiljattain alettu käyttää enemmän (esim. Paninski, 2003). Toistaiseksi entropiamittoja on sovellettu vain yksinkertaisten liikkeiden tutkimiseen. Informaatioentropiaa on käytetty muun muassa ihmisten liikkeiden ja lihashallinnan tutkimisessa (Lai ym., 2005; Stergiou, Buzzi, Kurz & Heidel, 2004). Virtuaaliympäristössä liikkumista ei informaatioentropian avulla ole aiemmin tutkittu.

Entropiamittojen avulla voidaan tarkastella liikkeen tasaisuutta, jolloin esimerkiksi vaihtelevalla nopeudella liikkuvat erottuvat tasaisemmin liikkuvista. Lisäksi entropiamitat lasketaan hyödyntämällä informaation todellista esiintymistä aineistossa sen sijaan, että informaation oletetaan olevan tietyllä tavalla jakautunutta. Informaatioentropian keskeinen hyöty on juuri se, että entropia-analyysi ei aseta minkäänlaisia jakaumaoletuksia mitattavalle ilmiölle, toisin kuin monet muut estimaattorit (esim. de Araujo ym., 2003). Liikkeen tutkiminen entropian avulla on osoitettu olevan tarkempi keino kuin liikkeen tutkiminen keskihajonnan ja siihen perustuvien jakaumien perusteella (Lai ym., 2005). Informaatioentropian avulla voidaan kvantifioida liikkumista, mikä puolestaan mahdollistaa erilaisten liikkumistapojen etsimisen tilastollisin menetelmin. Tämän lisäksi voidaan tarkastella erilaisten liikkumistapojen yhteyttä kokemuksiin.

1.3 Virtuaaliympäristöjen kokeminen

Nykyisen teknologian avulla pystytään luomaan uskottavan näköisiä virtuaaliympäristöjä aiempaa helpommin ja edullisemmin (Lanier, 2001). Sitä myötä kun sovellutukset yleistyvät, kasvaa myös tarve ymmärtää mitä psykologisesti merkittäviä tekijöitä niiden käyttöön liittyy; halutaan tietää, miten ihmiset kokevat virtuaaliympäristöjen käytön. Aiemmin kuvattu simulaattorisairaus on yksi usein virtuaaliympäristöjen käyttöön liitetystä kokemuksista, mutta se mielletään fyysisistä syistä johtuvaksi käytettävyyssongelmaksi (Jones ym., 2004; McCauley & Sharkey, 1992). Lisäksi tiedetään, että virtuaaliympäristöt voivat synnyttää uppoutuneisuuden tilan, jossa käyttäjä ei havaitse välitöntä ympäristöään vaan kokee olevansa sisällä tietokoneen luomassa maailmassa (Lombard & Ditton, 1997). Tämän läsnäolon tunteen avulla kartoitetaan virtuaaliympäristöihin liittyviä havaintoprosesseja sekä kognitiivisia tekijöitä. Käytetty lähestyminen korostaa havaitsemisen aktiivista roolia (vrt. Gibson, 1979; Järvilehto, 1999). Kognitiivisia sekä affektiivisia tekijöitä tutkitaan myös niin kutsutun flow'n käsitteen avulla, jonka mukaan kognitiivinen arvio omista taidoista ja haasteista vaikuttaa tilanteen synnyttämän affektin laatuun (Csikszentmihalyi, 1975). Kuvattu tarkastelutapa vastaa pitkälti kognitiivisten tekijöiden prosessointia korostavaa emotioteoriaa (Lazarus, 1991). Vaikka virtuaaliympäristöjen kokemisen kannalta tärkeät elementit tunnetaan, on sujuvan liikkumisen merkitys näihin kokemuksiin toistaiseksi selvittämättä. Seuraavaksi tarkastellaan lähemmin läsnäolon tunteen ja flow-kokemuksen käsitteitä sekä niiden yhteyttä virtuaaliympäristössä liikkumiseen.

1.3.1 Läsnaolon tunne

Läsnaolon tunne on psykologinen tila, jonka ajatellaan olevan määrittävä tekijä siinä, mikä tekee virtuaaliympäristöistä muista erillisiä kokemuksellisia ympäristöjä (Schubert ym., 1999). Läsnaolon tunteen määritelmästä ei ole päästy yksimielisyyteen, mikä on johtanut käsitteen kirjaraan operationalisointiin eri tutkimuksissa (esim. Sas & O'Hare, 2003). Huolimatta kirjallisuudessa esiintyvistä eroista läsnäolon tunteen määrittelyssä ja mittaamisessa, on hyväksyttynä reunaehtona pidetty sitä, että käyttäjä pystyy uppoutumaan virtuaaliympäristöön ilman että hän kiinnittää tietoisesti huomiota käyttämiinsä laitteisiin. Läsnaolon tunne siis tarkoittaa illuusiota havaitsemisen ei-välittyneisyydestä (Lombard & Ditton, 1997). Läsnaolon tunteesta on kyse, kun ihminen esimerkiksi pelatessaan autoilupeliä tuntee ajavansa autoa sen sijaan, että tuntisi ohjailevansa auton liikkeitä peliohjaimella. Edelleen, läsnäolon tunteella

tarkoitetaan sellaista uppoutuneisuuden tilaa, jossa syntyy niin sanottu siellä olon tunne (*engl. sense of being there*), jolloin ihminen tuntee olevansa sisällä tietokoneen luomassa maailmassa (Ijsselsteijn, de Ridder, Freeman & Avons, 2000).

Kaksi keskeisintä tekijää, jotka vaikuttavat läsnäolon tunteen muodostumiseen virtuaaliympäristöissä, ovat käyttäjän ominaisuudet sekä käytettävän laitteen ominaisuudet (Ijsselsteijn & Riva, 2003). Läsnäolon tunteen kannalta merkittäviä käyttäjän ominaisuuksia ovat muun muassa kognitiiviset ja motoriset kyvyt sekä aistinelinten ominaisuudet (Ijsselsteijn ym., 2000). Käytetyn laitteen ominaisuudet voidaan jaotella edelleen alaluokkiin: muoto- ja sisältömuuttujat. Muotomuuttujia ovat virtuaaliympäristön tarjoaman sensorisen informaation määrä, sensorisen informaation interaktiivinen reagointi käyttäjän aistinelinten sijainnin suhteen sekä käyttäjän mahdollisuus muokata virtuaaliympäristöä ja siellä olevia objekteja (Sheridan, 1996). Edellä mainitut ominaisuudet ovat muotomuuttujia, sillä ne kaikki liittyvät käytetyn laitteen fysikaalisiin tai ohjelmoituihin ominaisuuksiin. Sisältömuuttujia puolestaan ovat kaikki virtuaaliympäristön sisältämät objektit, hahmot ja tilat, jotka usein liittyvät virtuaaliympäristössä tapahtuvan toiminnan juoneen tai tarinaan (Ijsselsteijn & Riva, 2003). Sisältömuuttuja on siis kattokäsite sovellutuksille, kuten peleille tai elokuville, joita virtuaaliympäristöissä käytetään.

Läsnäolon tunne koostuu eri osakomponenteista, joita tyypillisesti mitataan itsearviointilomakkeilla (Schuemie, van der Straaten, Krijn & van der Mast, 2001). Virtuaaliympäristöjen osalta keskeisiä osakomponentteja ovat huomiokyvyn suuntautuminen virtuaaliympäristöön, ympäristön aitous ja uskottavuus sekä mahdollisuus hahmottaa ympäristö avaruudellisena erillisenä tilana, jota voidaan vapaasti tutkia (Fontaine, 1992; Lessiter, Freeman, Keogh & Davidoff, 2001; Schubert, Friedmann & Regenbrecht, 2001; Witmer & Singer, 1998). Lisäksi tärkeitä osakomponentteja ovat virtuaaliympäristön kokeminen paikkana, jossa pystytään aktiivisesti toimimaan siten, että vuorovaikutus on monipuolista, nopeaa ja luonnollista (Lessiter ym., 2001; Schubert ym., 2001; Slater ym., 1998). Edelliset osakomponentit ovat fysikaalisen läsnäolon tunteen osia (Ijsselsteijn ym., 2000). Erotuksena näistä ovat sosiaalisen läsnäolon tunteen osakomponentit. Näistä keskeisiä ovat virtuaaliympäristön kokeminen sosiaalisena, persoonallisena ja läheisenä tilana sekä tunne, että toimii siellä yhdessä muiden ihmisten kanssa (Heeter, 1992; Lombard & Ditton, 1997; Rice, 1992).

Läsnäolon tunteen katsotaan olevan yhteydessä myönteisiin käyttäjäkokemuksiin (Novak, Hoffman & Yung, 2000). Lisäksi korkean läsnäolontunteen on havaittu olevan yhteydessä tehokkaampaan suoritukseen visuokonstruktiivista päättelyä ja muistamista vaativassa tehtävässä (Slater, Linakis, Usoh & Kooper, 1996) sekä yleisesti parempaan tehtäväsuoriutumiseen ja vähäisempään määrään simulaattorisairausten oireita (Rice, 1992; Witmer & Singer, 1998). On myös saatu alustavia tuloksia virtuaaliympäristöjen oppimista parantavasta vaikutuksesta, joskin tulosten yhteyttä läsnäolon tunteeseen ei tutkimuksissa ole systemaattisesti tarkasteltu (Halvorsrud & Hagen, 2004; Youngblut, 1998). Näiden tulosten perusteella voidaan väittää, että voimakas läsnäolon tunne lisää ihmisten halukkuutta käyttää kyseistä laitetta ja tekee käytöstä tehokkaampaa.

Läsnäolon tunteeseen vaikuttaa ympäristön kontrolloitavuus ja käytön sujuvuus (Schuemie ym., 2001). Mikäli käyttöliittymä on häiritsevä tai virtuaaliympäristön käyttäminen vaatii tarkkaa keskittymistä, on uppoutuneisuuden tilaa vaikea saavuttaa (Lombard & Ditton, 1997). Näin ollen on oletettavaa, että myös liikkumisen sujuvuus on edellytys korkealle läsnäolon tunteelle. Kävelyn simuloimisen on havaittu tuottavan suuremman läsnäolon tunteen kuin ohjauslaitteiden avulla ympäristössä liikkumisen (Slater, Usoh & Steed, 1995). Lisäksi on havaittu, että voimakkain läsnäolon tunne saavutetaan ohjaamalla virtuaaliympäristössä liikkumista aidosti kävelemällä, mutta tämä on teknisesti hankala ja kallis käyttöliittymäratkaisu (Usoh ym., 1999). Nämä eri käyttöliittymiä koskevat tulokset eivät kuitenkaan ota kantaa itse liikkumisen sujuvuuteen. Kaikkiaan käytön sujuvuuden ja kontrollitekijöiden tarkastelu on jäänyt läsnäolon tunteen tutkimuksessa enimmäkseen teoreettiselle asteelle (Novak ym., 2000; Schubert ym., 2001; Witmer & Singer, 1998).

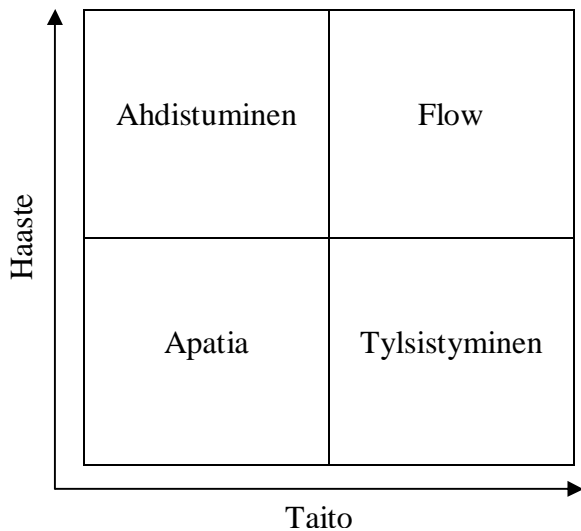
1.3.2 Flow

Flow on Csikszentmihalyin (1975) kehittämä käsite, jolla tarkoitetaan nautinnollista keskittyneisyyden tilaa, jossa toiminta on sujuvaa. Flow on kokemus, jonka aikana ihminen on täysin uppoutunut toimintaansa. Lisäksi se on psykologinen tila, jossa ihminen tuntee olevansa motivoitunut, iloinen ja kognitiivisesti tehokas (Moneta & Csikszentmihalyi, 1996). Flow'n käsitettä on alun perin sovellettu muun muassa vuorikiipeilyyn, tanssimisen ja urheilusuoritusten analysoinnissa (Csikszentmihalyi, 1975). Myöhemmin flow'n käsitettä on sovellettu muun muassa tietokoneiden käytön (Ghani & Deshpande, 1994), WWW-sivujen selailun (Chen, Wigand & Nilan, 1999; Hoffman & Novak, 1996; Novak, Hoffman & Yung,

2000) sekä tietokonepelaamisen tutkimiseen (Hsu & Lu, 2004; Takatalo ym., 2006). Kuten läsnäolon tunteen käsitteen kohdalla, flow'n määritelmästä ei ole myöskään saavutettu täyttä yksimielisyyttä. On esitetty, että subjektiivinen kokemus taitojen sekä haasteiden sopivasta tasosta, riittävästä kontrollin tunteesta sekä toiminnan leikkisyydestä (*engl.* playfulness) olisivat flow'n edellytyksiä (Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1988; Ghani, 1995). Toisen näkemyksen mukaan haasteiden ja taitojen lisäksi flow'n edellytyksiä ovat läsnäolon tunne, kontrollin tunne ja vuorovaikutuksen nopeus (Novak ym., 2000).

Flow'n kokeminen on itsessään miellyttävä tila, jossa toiminta koetaan mielekkääksi ja se on sujuvaa ja tehokasta. Tietokoneiden käyttöä koskevissa tutkimuksissa flow'n on havaittu olevan yhteydessä tehokkaampaan oppimiseen (Hoffman & Novak, 1996; Skadberg & Kimmel, 2004), myönteiseen tunnetilaan (Chen ym., 1999; Hoffman & Novak, 1996) ja suurempaan tietokoneiden käytön määrään (Ghani & Deshpande, 1994). Toisaalta on esitetty, että flow'n kokeminen miellyttävyytensä vuoksi saattaisi vähentää toiminnan tehokkuutta, koska se heikentää pyrkimystä saattaa kyseessä oleva tehtävä loppuun (Hoffman & Novak, 1996). Viihdetarkoitukseen kehitettyjen sovellutusten, kuten pelien, kohdalla tämä on tavoiteltava ominaisuus. Pelitutkimuksessa pelien viihdyttävyyttä ja hauskuutta tutkitaankin paljolti flow'n käsitteen tai flow-tutkimuksesta lainattujen käsitteiden avulla (Draper, 1999).

Huolimatta eri painotuksista, joita flow'n määrittelyssä vallitsee, yhteistä kaikille malleille on haasteiden ja taitojen sekä niiden välisen suhteen näkeminen flow'n edellytyksinä (Finneran & Zhang, 2005). Ongelmana on haasteiden ja taitojen puutteellinen operationalisointi sekä objektiivisten mittausmenetelmien puute. Tässä tutkimuksessa esitetty liikkumisen mittaaminen ja mahdollisuus tarkastella liikkumista objektiivisena taidon mittana tarjoaa yhden ratkaisun tähän ongelmaan. On esitetty, että haasteiden ja taitojen täytyy ylittää tietty taso, jotta flow'n kokeminen olisi mahdollista (Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1988). Taitojen ja haasteiden välisten suhteiden pohjalta on muodostettu nelikanavainen flow-malli (kuva 2) (Massimini & Carli, 1988). Mallin mukaan liian helppo tehtävä tai liian vähäiset taidot ovat este flow'n kokemiselle, siitä huolimatta, että niiden keskinäinen suhde olisi sopivalla tasolla. Lisäksi on havaittu, että ongelmat käyttöliittymän kanssa ovat suurin este flow'n kokemiselle tietokoneita käytettäessä (Pilke, 2004). Sujuva liikkuminen virtuaaliympäristöissä edellyttää, että käyttöliittymä ei häiritse käyttäjää. Näin ollen on odotettavaa, että sujuva liikkuminen on yhteydessä flow'n kokemiseen, mutta ainoastaan siinä tapauksessa, että käyttäjä arvioi taitonsa hyväksi ja tehtävän haasteen korkeaksi.



Kuva 2. Nelikanavainen flow-malli (Massimini & Carli, 1988)

1.4 Tutkimusongelmat

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia virtuaaliympäristössä liikkumista sekä analysoida liikkumisen roolia virtuaaliympäristön kokemisessa. Informaatioentropiaa hyödyntämällä pyritään mallintamaan virtuaaliympäristössä liikkumista ja määrittämään sujuvan liikkumisen tunnuspiirteet sekä vertaamaan sujuvasti liikkuvia vähemmän sujuvasti liikkuviin. Koska informaatioentropiaa ei ole aiemmin sovellettu liikkumisen tarkastelussa, on kyseessä kartoittava tutkimus. Siksi ensinnäkin selvitetään onko erilaisia liikkumistapoja löydettävissä. Toiseksi tutkitaan mitä taustamuuttujia on yhteydessä erilaisiin liikkumistapoihin. Lisäksi aiemman tutkimuksen perusteella liikkumisen yhteydestä kokemuksiin muodostettiin kaksi hypoteesia:

Hypoteesi 1: Sujuva liikkuminen virtuaaliympäristössä on yhteydessä korkeaan läsnäolon tunteeseen.

Hypoteesi 2: Sujuva liikkuminen virtuaaliympäristössä on yhteydessä käyttäjien arvioon ympäristön korkeasta haasteellisuudesta sekä hyvistä käyttötaidoista.

2 MENETELMÄT

2.1 Koehenkilöt

Kokeeseen osallistui 68 koehenkilöä, joista 43 (63.2 %) oli miehiä ja 25 (36.8 %) naisia. Sukupuolijakauman tasoittamiseksi kokeeseen pyrittiin saaman enemmän naiskoehenkilöitä, mutta aikataulurajoitusten vuoksi riittävää määrää naiskoehenkilöitä ei onnistuttu hankkimaan vaaditussa ajassa. Koehenkilöt olivat iältään 18–45 vuotiaita (ka = 28.15 vuotta, kh = 5.50). Suurin osa koehenkilöistä oli koulutukseltaan ylioppilaita (n = 32, 47.1 %) tai ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneita (n = 31, 45.6 %). Kaikilla koehenkilöillä oli vähintään perustiedot tietokoneiden käytöstä. Koehenkilöiden viikoittainen tietokoneiden käyttö vaihteli 0–60 tuntiin viikossa (ka = 28.51 tuntia, kh = 16.78). Ainoastaan yhdeksällä koehenkilöllä (13.2 %) oli aiempaa käyttökokemusta virtuaaliympäristöistä. Kokemus tietokonepeleistä vaihteli siten, että 22 (32.4 %) koehenkilöä ei pelannut tietokonepelejä lainkaan ja vain kolme (4.4 %) koehenkilöä ilmoitti pelaavansa tietokoneella vähintään joka toinen päivä.

Kokeesta ilmoitettiin Helsingin yliopiston psykologian sekä kognitiotieteen opiskelijoiden sähköpostilistoilla ja CSC - Tieteellinen laskenta Oy:n henkilökunnan sähköpostilistalla. Lisäksi koekutsussa kehoitettiin lähettämään viesti eteenpäin virtuaaliympäristöistä mahdollisesti kiinnostuneille henkilöille. Sähköpostin yhteydessä annettiin linkki tutkimuksen kotisivuille, jossa oli tarkempaa tietoa itse kokeesta sekä tutkimusajoista. Kokeeseen osallistui pilottivaiheessa 10 koehenkilöä ja itse varsinaiseen kokeeseen 58 koehenkilöä. Pilottivaiheen jälkeen kyselylomakkeen sanamuotoihin tehtiin pieniä muutoksia, mutta analysointivaiheessa pilottikokeeseen sekä varsinaiseen kokeeseen osallistuneita tarkasteltiin yhtenä ryhmänä.

2.2 Käytetty teknologia

Tutkimus suoritettiin Helsingin Teknillisen korkeakoulun tietoliikenneohjelmistojen ja multimedian laboratorion kokeellisessa virtuaaliympäristössä eli EVE:ssä (Experimental Virtual Environment). EVE on niin kutsuttu takaheijasteinen virtuaaliympäristö (CAVE), jossa käyttäjää ympäröi kolme näyttöä, jotka ovat kaikki kooltaan 3 x 3 metriä. Näyttöjen resoluutio oli 1024 x 1024 pikseliä. Käytetty järjestelmä oli Silicon Graphics Onyx 2 (SGI) - tietokone kahdella Infinite Reality 2 -grafiikkapiirillä. Kuva heijastettiin näytöille neljällä

ElectroHome Marquee 8500 LC Ultra -projektorilla. Lisäksi koehenkilöillä oli päässään StereoGraphics CrystalEyes CE2 -suljinlasit, jotka tekivät ympäristöstä kolmiulotteisen.

Projektorit tuottivat käyttäjän molempiin silmiin arviolta 1000 ANSI lumenin valovirran, joista käyttäjän suljinlasit, järjestelmässä käytetyt peilit sekä näytöt vähensivät noin 90 %. Näin ollen lopullinen valovirta molempiin silmiin oli noin 100 ANSI lumenia. Näytön virkistystaajuus oli 120 Hz, jonka suljinlasit puolittivat 60 Hz:iin. Käyttöliittymänä oli kädessä pidettävä Logitech'in langaton hiiri, johon oli liitetty Ascension Motionstar -liikkeenkaappausjärjestelmä. Liikkeenkaappausjärjestelmä rekisteröi käyttäjän käden liikkeet, joilla näin ollen ohjattiin virtuaaliympäristössä liikkumista. Langattoman hiiren käyttöohjeet sekä virtuaaliympäristössä liikkumisen ohjeistus olivat etukäteen saatavilla koetta varten perustetulla Internet-sivustolla. Lisäksi koehenkilöitä opastettiin EVE:n käytössä ennen virtuaaliympäristöön siirtymistä.

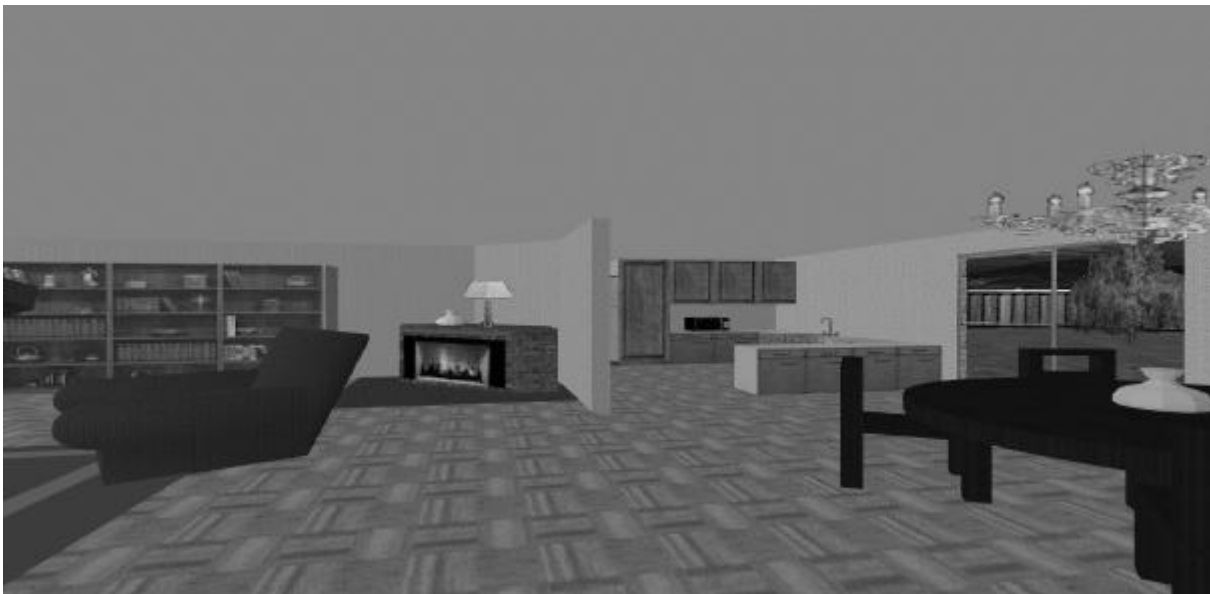
Käytetty ohjelmisto oli muokattu versio Laakson (2001) kehittämästä HCNav:ista. Koeympäristönä käytetty virtuaalisen talon malli saatiin ”Friends of performer” -kokoelmasta (misc94/house.dwb). Käytetty malli oli muodostettu 4657 kolmiosta ja 31 tekstuurista. Lisäksi malliin lisättiin ylimääräisiä objekteja 3D-cafe -tietokannasta (<http://www.3dcafe.com>). Ympäristön äänimaailma koostettiin äänitehosteiden sekä SGI:n äänikirjaston avulla. Äänitehosteet toistettiin EVE:n 3D-äänijärjestelmän avulla ja niiden keskimääräinen äänenvoimakkuus oli 65 dB:ä. Perusteellisemmat tekniset tiedot käytetyistä laitteistoista ja ohjelmistoista ovat raportoitu Jalkasen (2000) ja Laakson (2001) tutkimuksissa.

2.3 Tutkimuksen kulku

Koehenkilöitä ohjeistettiin seisomaan keskellä EVE:ä, niin että heidän edessään avautui näkymä yhdysvaltalaisyylisen omakotitalon etupihalle. Ympäröivä maisema kuvasti pientä maaseutukylää. Koehenkilöille kerrottiin, että koe suoritetaan heidän edessään näkyvässä talossa. Tutustuttaakseen koehenkilöt virtuaaliympäristöön, kokeenjohtaja ohjasi kierroksen talon ympäri. Tutustumiskierros kesti noin minuutin ja siinä ”lennettiin” talon ympäri sivusuunnassa, siten että katsesuunta oli jatkuvasti kiinnitetty taloa kohden. Kierroksen lopuksi kuvakulma palautettiin takaisin lähtötilanteeseen. Tutustumiskierroksen jälkeen ohjaus asetettiin sellaiseksi, että vain maantasolla liikkuminen oli mahdollista. Kokeenjohtaja toisti langattoman hiiren käyttöohjeet ja koehenkilöiden annettiin harjoitella

virtuaaliympäristössä liikkumista. Harjoitusvaiheessa liikkuminen oli vapaata, mutta koehenkilöitä kiellettiin liikkumasta taloon sisälle tai kurkistamasta ikkunoista sisään. Tarpeen vaatiessa koehenkilöitä opastettiin, miten he voisivat liikkua sujuvammin. Harjoitteluvaiheen kesto oli viisi minuuttia.

Koetehtävän tarkoituksena oli tarjota koehenkilöille tarkoitushakuista toimintaa 10–15 minuutin ajaksi. Koehenkilöiden tehtävänä oli siirtyä talon sisään ja etsiä sieltä esineitä, jotka eivät tyypillisesti kuulu omakotitalon kalustukseen tai esineistöön. Talo oli tavanomainen viiden huoneen ja kahden kylpyhuoneen omakotitalo (kuva 3). Talossa oli yksi asuntoon kuulumaton esine kerrallaan ja koehenkilöitä kehoitettiin siirtymään sen luo. Onnistuneen osuman jälkeen esine hävisi talosta, jonka merkiksi kuului äänitehoste. Etsittävien esineiden sijoittelu oli etukäteen suunniteltu ja se oli kaikille koehenkilöille sama. Talon pohjapiirustus, esineiden nimet, sijoitukset sekä äänitehosteet ovat tarkemmin kuvattu liitteessä 1.



Kuva 3. Näkymä talon sisältä olohuoneesta keittiöön päin.

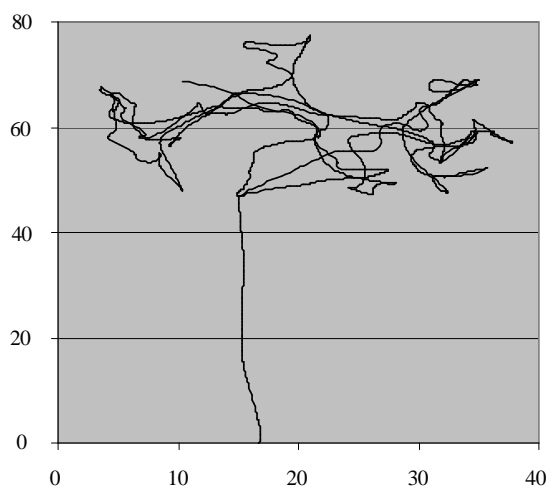
Talon sisään sijoitettiin kaikkiaan kymmenen erilaista asuntoon kuulumatonta esinettä ja yksi esine sijoitettiin ulos talon takapihalle. Ennen tehtävää koehenkilöitä ohjeistettiin katsomaan talon ikkunoista ulos, mikäli he eivät löytäisi poikkeavia esineitä talon sisältä. Talon ulkopuolella oleva esine oli helposti havaittava Boeing-747 -lentokone. Koehenkilöitä kannustettiin osumaan kaikkiin mielestään asuntoon kuulumattomiin esineisiin, sen sijaan, että he tyytyisivät pitämään niitä osana kalustusta. Teknisistä seikoista johtuen koehenkilöt pystyivät kävelemään sekä seinien että kalusteiden läpi, mutta heitä kehoitettiin välttämään

sitä. Ohjeistuksen jälkeen varmistettiin, että koehenkilö oli ymmärtänyt ohjeet. Tämän jälkeen virtuaaliympäristön näkymä siirrettiin taloon johtavan lyhyen jalkakäytävän alkuun ja koehenkilöä opastettiin siirtymään talon sisälle ja aloittamaan asuntoon kuulumattomien esineiden etsiminen. Kokeenjohtaja tarkkaili kokeen etenemistä hiljaa koehenkilön takana, mahdollistaen koehenkilöiden täyden keskittymisen tehtävään. Koetta jatkettiin siihen asti, kunnes koehenkilö oli löytänyt kaikki 11 asuntoon kuulumatonta esinettä tai 15 minuutin aikaraja umpeutui. Yhden koesarjan kokonaiskesto harjoitteluineen oli noin 20–25 minuuttia. Koehenkilöitä pyydettiin olemaan kertomatta yksityiskohtia kokeen kulusta muille kokeeseen osallistuville. Kokeen jälkeen koehenkilöitä pyydettiin täyttämään *Experimental Virtual Environment Questionnaire* -kyselylomake (EVEQ).

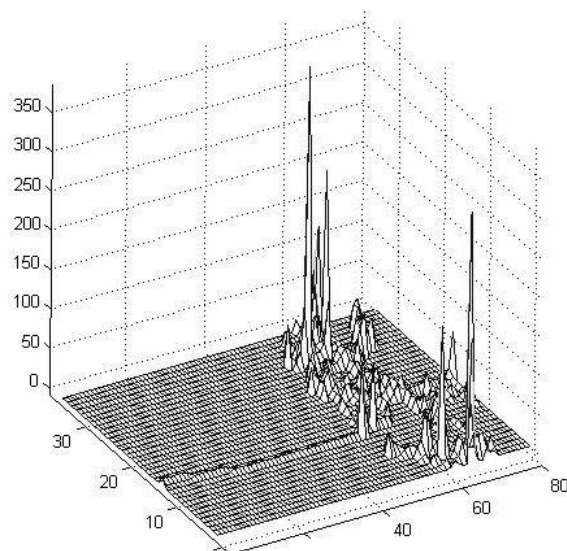
2.4 Entropian soveltaminen liikkumisen tarkastelussa

Koehenkilöiden liikkuminen virtuaaliympäristössä tallentui tietokoneelle muodostaen radan kaksiulotteisessa (x, y) koordinaatistossa. Koehenkilön sijainnin näytteenottotaajuus oli noin kuusi kertaa sekunnissa, ja se interpoloitiin jälkeinpäin tasaväliseksi 0.6 sekunnin ajanjaksoiksi. Aika- ja sijaintitiedot yhdistämällä laskettiin kunkin koehenkilön tehtävään kulunut kokonaisaika, pysähdysten lukumäärä, keskikihtiävyys sekä määritettiin heidän kulkemansa liikerata (kuva 4a). Lisäksi laskettiin pysähdyksissä oltu aika suhteessa tehtävän kokonaisaikaan.

Koehenkilöiden liikkuminen haluttiin saattaa kvantifioitavaan muotoon, jotta liikkumistavan tilastollinen vertailu olisi mahdollista. Tätä tarkoitusta varten aineistosta laskettiin kolme entropiamuuttujaa. Kullekin koehenkilölle laskettiin sijainnin, suunnanmuutoksen ja nopeuden entropia. Kaikki kolme entropiamittaa laskettiin tietokoneen kultakin koehenkilöltä rekisteröimien sijaintitietojen pohjalta. Lasketut entropia-arvot ovat jatkuvia muuttujia ja ne laskettiin käyttämällä MatLab R13 -ohjelmaa.



(a)



(b)

Kuva 4. (a) Aika- ja sijaintitietojen pohjalta muodostettu liikerata eräällä koehenkilöllä. (b) Kolmiulotteinen histogrammi, jossa on kuvattu saman koehenkilön liikerata. Histogrammin korkeus osoittaa kuinka monta kertaa koehenkilö on ollut samassa paikassa.

Sijainnin entropia laskettiin jakamalla alue, jolla koehenkilö liikkui samansuuruisiin osiin, joita havainnollisuuden vuoksi kutsutaan laatoiksi. Seuraavaksi laskettiin frekvenssi sille, kuinka usein koehenkilö oli käynyt kullakin laatalle. Näin ollen saatiin muodostettua kolmiulotteinen histogrammi (kuva 4b), josta ilmenee sekä koehenkilön liikerata että lukumäärä sille, kuinka usein koehenkilö on vieraillut kullakin laatalle. Frekvenssijakauman perusteella laskettiin käyntitodennäköisyys jokaiselle liikeradan laatalle, jonka pohjalta sijainnin entropia voitiin laskea. Matala sijainnin entropia osoittaa, että henkilö on käynyt vain harvoissa kohdissa virtuaaliympäristöä, mutta useita kertoja. Korkea sijainnin entropia puolestaan osoittaa, että henkilö on liikkunut yhtä paljon kaikissa osissa virtuaaliympäristöä.

Suunnanmuutoksen entropia muodostettiin laskemalla kullekin peräkkäiselle mittauspisteelle kulmanmuutos vertaamalla sitä edellisen mittauspisteen sijaintiin. Seuraavaksi koko kulma-avaruus jaettiin tasasuuriin osiin ja kukin kulmanmuutos, riippuen sen suuruudesta, määrättiin kuuluvaksi johonkin kulma-avaruuden osaan. Näin pystyttiin muodostamaan todennäköisyys kullekin kulmanmuutokselle, jonka perusteella suunnanmuutoksen entropia laskettiin. Matala suunnanmuutoksen entropia osoittaa, että henkilö on edennyt virtuaaliympäristössä samansuuruisin käännöksiin, kun taas korkea entropia osoittaa henkilön tehneen paljon erisuuruisia käännöksiä.

Nopeuden entropia puolestaan muodostettiin laskemalla aika- ja sijaintitietojen avulla kullekin peräkkäiselle mittauspisteelle nopeus. Mahdollinen nopeusavaruus jaettiin tasamittaisiin nopeusväleihin ja kukin laskettu nopeustulos määrättiin kuuluvaksi tietylle nopeusvälille. Tämän perusteella saatiin todennäköisyys kullekin nopeusvälille, jonka perusteella nopeuden entropia laskettiin. Matala nopeuden entropia osoittaa henkilön liikkuneen tasaisella nopeudella ja korkea entropia osoittaa henkilön liikkumisnopeuden vaihdelleen paljon.

2.5 Arviointimenetelmät

Virtuaaliympäristöjen synnyttämiä kokemuksia mitattiin Takatalon (2006) kehittämällä EVEQ -kyselylomakkeella. EVEQ on virtuaaliympäristöjen synnyttämien kokemusten tutkimiseen kehitetty kyselylomake, jossa on 135 osiota. Niistä on muodostettu 21 kokemusten osakomponentteja mittaavaa faktoripistettä. Suurin osa kysymyksistä on seitsemänportaisen Likert-asteikon mukaisia ja saavat arvoja välillä 1 (täysin samaa mieltä) – 7 (täysin eri mieltä). Loput kysymyksistä ovat niin kutsuttuja semanttisia differentiaaleja, joissa koehenkilö arvioi kokemustaan kahden vastakkaisen adjektiivin suhteen seitsemänportaisella asteikolla (esim. iloinen – surullinen). EVEQ -kyselylomakkeesta on kehitetty myös tietokonepelien tutkimiseen tarkoitettu EVEQ-GP -kyselylomake, jota on sovellettu useissa tutkimuksissa, joissa sen reliabiliteetti ja validiteetti on todettu hyväksi (Särkelä, Takatalo, Komulainen, Nyman & Häkkinen, 2004; Takatalo, Häkkinen, Komulainen, Särkelä & Nyman, 2004; Takatalo ym., 2006).

Tähän tutkimukseen valittiin 19 EVEQ -kyselylomakkeen faktoripistettä, koska virtuaaliympäristön synnyttämien kokemusten tarkastelu rajattiin vain läsnäolon tunteen, flow'n ja simulaattorisairauden osakomponentteihin, joita valitut faktoripisteet edustavat. Mukaan valittujen kokemusmuuttujien osakomponenttien sisällöllinen kuvaus sekä reliabiliteetit on koottu taulukkoon 1. Eri kokemusmuuttujien osakomponentit on muodostettu aiempien tutkimusten sekä Takatalon (2006) laatimien lisäkysymysten pohjalta. Läsnäolon tunteen osakomponentit on koottu useista eri tutkimuksista (Kim & Biocca, 1997; Lessiter, ym., 2001; Lombard & Ditton, 1997; Schubert ym., 1999; Witmer & Singer, 1998). Myös flow'n osakomponentit on valittu aiempien tutkimusten pohjalta (Fontaine, 1992; Novak ym., 2000; Lessiter, ym., 2001; Witmer & Singer, 1998). Simulaattorisairauteen liittyviä oireita mitattiin *Simulator Sickness Questionnaire* -kyselylomakkeesta (SSQ) muodostetulla

lyhennetyllä oirekyselyllä (Kennedy ym., 1993). EVEQ -kyselylomakkeen rakenne on tarkemmin raportoitu Takatalon (2006) liseniaatintyössä.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt 19 EVEQ:n faktoripistettä ja niiden sisällöllinen luonnehdinta. Faktoripisteet on ryhmitelty sen mukaan, miten ne jakautuvat läsnäolon tunteen, flow'n ja simulaattorisairaudeen osakomponenteiksi. Suluissa on ilmoitettu kunkin osakomponentin reliabiliteetti Cronbachin alfalla laskettuna (Takatalo, 2006).

1. Läsnaolon tunteen osakomponentit	α
Aitous (Virtuaalimaailma kokeminen luonnollisena, aitona ja eloisana)	.83
Avaruudellisuus (Spatiaalinen hahmottaminen, tunne virtuaalimaailman sisällä olemisesta)	.84
Keskittyminen (Keskittyminen virtuaaliympäristöön, ajantajun katoaminen)	.90
Personalisaatio (Virtuaaliympäristön kokeminen persoonallisena ja läheisenä)	.84
Siellä olo (Tunne, että aidosti vieraili virtuaalimaailmassa)	.84
Toiminta (Tunne, että esineitä pystyi aidosti koskettamaan; talossa pystyi todella liikkumaan)	.82
Vire (Millaisen viretason tilanne synnytti)	.67
Vuorovaikutteisuus (Vuorovaikutuksen nopeus, laajuus ja luonnollisuus)	.81
Ympäristön tutkiminen (Kuinka hyvin ympäristöä pystyi tutkimaan)	.74
2. Flow'n osakomponentit	
Taito (Kuinka taitavaksi koki itsensä virtuaaliympäristön käytössä)	.91
Haaste (Kuinka haastavaksi virtuaaliympäristön käyttö koettiin)	.84
Kontrolli (Kuinka paljon kontrollia tilanteessa koettiin)	.82
Ahdistuneisuus (Kuinka ahdistuneeksi/turhautuneeksi oma vointi koettiin)	.82
Leikkisyys (Kuinka vapaaksi, välittömäksi, joustavaksi ja leikkimieliseksi oma vointi koettiin)	.85
Mielekkyys (Tuntuiko tehtävä mielekkäältä ja miellyttävältä)	.77
Mielihyvä (Oliko kokemuksen jälkeen olo iloinen ja tyytyväinen vai onneton ja tyytymätön)	.86
3. Simulaattorisairaudeen osakomponentit	
Häiritsevyys (Häiritsikö käyttöliittymä virtuaaliympäristössä toimimista)	.61
Pahoinvointi (Huonovointisuus, huimaus, hikoilu, vatsatuntemukset ja pyöritys)	.85
Väsymys (Pääkipu, keskittymisvaikeus, väsymys, näkökentän heikentyminen, desorientaatio)	.70

2.6 Tilastolliset menetelmät

Erilaisten liikkumistapojen löytämiseksi koehenkilöt ryhmiteltiin heidän liikkumisensa perusteella käyttämällä hierarkkista ryhmittelyanalyysia. Ryhmitteleviksi muuttujiksi valittiin suunnanmuutoksen entropia, nopeuden entropia, keskikiikkyvyys, pysähdysten lukumäärä sekä paikallaan oltu aika (prosentuaalisesti koko tehtävään kuluneesta ajasta). Ryhmittelymenetelmänä käytettiin Wardin menetelmää ja etäisyysmitaksi valittiin euklidisen etäisyysmitan neliö. Sopivimman ryhmittelyratkaisun löytämiseksi tutkittiin kolmen, neljän ja viiden ryhmän vaihtoehdot. Näistä parhaimmaksi todettiin neljän ryhmän ratkaisu, koska sillä saavutettiin tasapaino erottelevuuden ja mielekkäiden ryhmäkokojen välillä. Ryhmittelyanalyysin tuloksen vakauden tarkistamiseksi aineisto jaettiin satunnaisesti kahtia ja molemmille puolille tehtiin erikseen ryhmittely. Aineiston puolikkaiden neljä ryhmää pysyivät sisällöllisesti samankaltaisina kuin koko aineiston ryhmittelyssä. Validoinnin perusteella todettiin, että saatu ryhmittelyratkaisu on riittävän vakaa. Aineiston puolituksen jälkeinen ryhmittely ja sen profilointi on kuvattu liitetaulukossa 1.

Muodostettujen ryhmien välisiä eroja suhteessa valittuihin faktoripisteisiin tutkittiin yksisuuntaisen varianssianalyysin avulla. Niiden faktoripisteiden osalta, joissa ryhmien väliset varianssit olivat erisuuruiset, käytettiin Brown-Forsythen -testiä. Kaikki tilastolliset analyysit tehtiin SPSS 13.0 ohjelmalla.

3 TULOKSET

3.1 Liikkumistavat virtuaaliympäristössä

Ryhmittelyanalyysin avulla muodostetut ryhmät profiloitiin liikemittareina käytettyjen muuttujien sekä sijainnin entropian suhteen (taulukko 2). Ryhmät erosivat toisistaan tilastollisesti erittäin merkitsevästi kaikkien ryhmittelyssä käytettyjen muuttujien suhteen, mikä oli myös odotettavaa, sillä Wardin menetelmä pyrkii sekä muodostamaan yhtä suuria ryhmiä että maksimoimaan ryhmien väliset erot (Hair, Black, Babin, Anderson & Tatham, 2006). Lisäksi ryhmät erosivat toisistaan sijainnin entropian suhteen. Koska ryhmät erosivat toisistaan ryhmittelyssä käytettyjen muuttujien suhteen, oli myös ryhmien vertailu sekä nimeäminen niiden perusteella mielekästä.

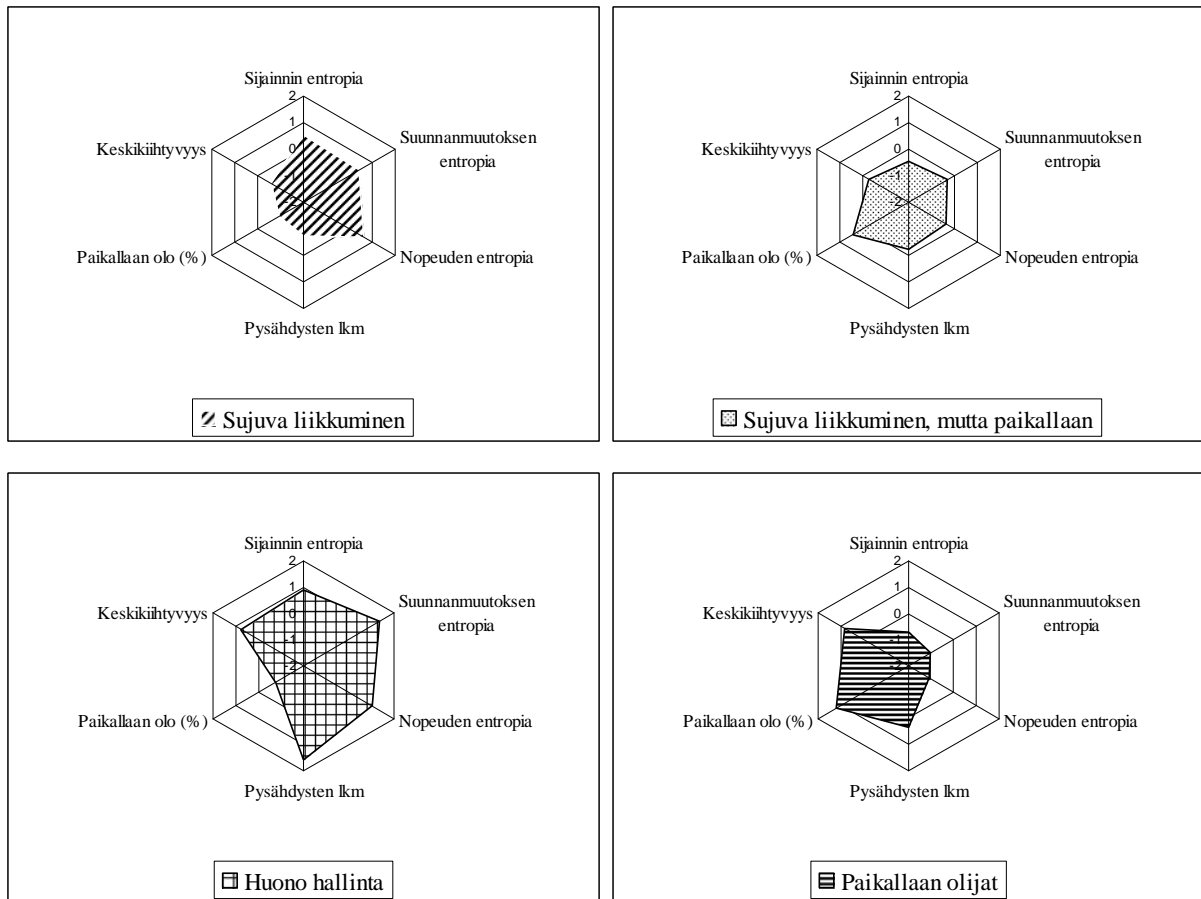
Taulukko 2. Erilaisten liikkumistapojen vertailu liikemittareina käytettyjen muuttujien suhteen (keskihajonnat suluissa). Sijainnin entropiaa ei käytetty ryhmittelevänä muuttujana.

	Ryhmät				df1,df2	F
	1	2	3	4		
	Sujuva liikkuminen	Sujuva liikkuminen, mutta paikallaan	Huono hallinta	Paikallaan olijat		
Liikemittarit	n = 20	n = 24	n = 10	n = 14		
Suunnan- muutoksen entropia ^a	2.76 (0.25)	2.55 (0.13)	3.04 (0.27)	2.34 (0.13)	3,26	26.05***
Nopeuden entropia ^b	2.60 (0.30)	2.22 (0.20)	2.74 (0.31)	1.95 (0.24)	3,64	26.98***
Pysähdysten lukumäärä ^a	54.65 (25.16)	75.75 (22.91)	155.50 (35.02)	101.29 (36.82)	3,37	25.44***
Paikallaan olo (%) ^a	23.09 (11.72)	46.21 (4.73)	26.90 (13.05)	58.62 (5.04)	3,26	47.55***
Keski- kiihtyvyys ^a	0.13 (0.04)	0.15 (0.03)	0.22 (0.11)	0.23 (0.06)	3,19	8.22**
Sijainnin entropia ^b	5.54 (0.43)	5.16 (0.22)	5.67 (0.25)	5.06 (0.22)	3,64	13.58***

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$, + $p < .10$

^a Käytetty Brown-Forsythe test

^b Käytetty yksisuuntaista varianssianalyysia



Kuva 5. Erilaisten liikkumistapojen profiilit kuvattuna liikemittareina käytettyjen muuttujien suhteen. Kuvassa on yhteismitallisiksi standardoitujen liikemittareiden keskiarvot kussakin ryhmässä.

Ensimmäisen ryhmän liikkuminen oli käytettyjen muuttujien osalta lähellä koko aineiston keskiarvoa, joskin pysähdysten lukumäärä oli vähäinen ja paikallaan vietetyn ajan osuus tehtävän kokonaisaikaan nähden oli pieni. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat olivat siis olleet sujuvassa liikkeessä suurimman osan ajasta. Ensimmäinen ryhmä nimettiin *sujuvan liikkumisen* ryhmäksi. Toiseen ryhmään kuuluvat olivat liikkumisen osalta lähellä ensimmäistä ryhmää, mutta heillä oli enemmän pysähdyksiä ja he olivat olleet paikallaan huomattavan osan virtuaaliympäristössä vietetystä ajasta. Toinen ryhmä nimettiin *sujuvan liikkumisen, mutta paikallaan* olevien ryhmäksi. Kolmanteen ryhmään kuuluvat olivat puolestaan tehneet paljon erisuuruisia suunnanmuutoksia sekä heillä oli eniten vaihtelua liikkumisnopeudessa. Lisäksi kolmanteen ryhmään kuuluvilla oli suuri keskikiikkyvyys ja he olivat pysähdelleet selvästi muita ryhmiä useammin. Huolimatta runsaasta pysähtelystä kolmanteen ryhmään kuuluvat olivat liikkeellä valtaosan ajasta. Näin ollen kolmas ryhmä nimettiin *huonon hallinnan* ryhmäksi. Neljänteen ryhmään kuuluvilla oli vähiten erisuuruisia suunnanmuutoksia ja nopeusvaihteluita, mutta paljon pysähdyksiä ja suuri keskikiikkyvyys.

Lisäksi neljänteen ryhmään kuuluvat viettivät selvästi muita ryhmiä enemmän aikaa paikallaan. Neljäs ryhmä nimettiinkin *paikallaan olijoiden* ryhmäksi. Muodostettujen ryhmien sisällöt ja erot käyvät ilmi kuvasta 5.

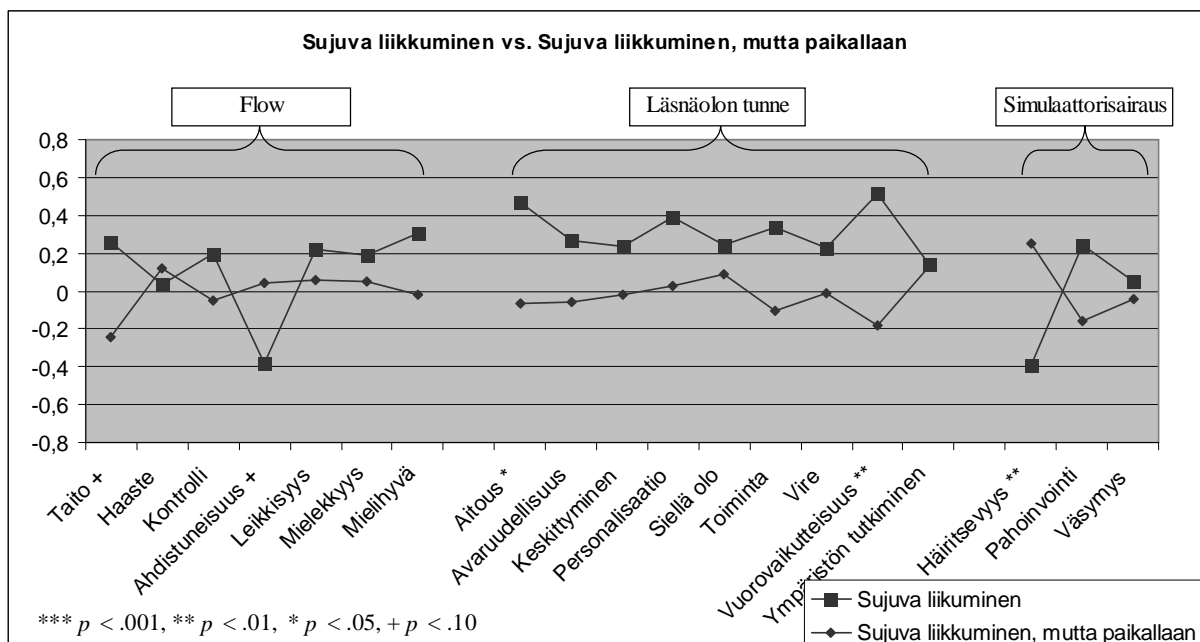
Seuraavaksi erilaisia liikkumistapoja edustavia ryhmiä vertailtiin sekä tehtäväsuoriutumisen että taustamuuttujien suhteen. Annettu koetehtävä oli suhteellisen helppo, sillä yli kolme neljäsosaa käyttäjistä löysi vähintään kymmenen esinettä, ja kaikkiaan puolet käyttäjistä löysi kaikki yksitoista asuntoon kuulumatonta esinettä. Liikkumistavalla ei ollut vaikutusta siihen, kuinka monta asuntoon kuulumatonta esinettä löydettiin (Kruskal-Wallis, $\chi^2[3] = 3.85$, $p = .28$). Tarkasteltavat taustamuuttujat olivat koehenkilöiden ikä, sukupuoli, kokemus tietokoneiden käytöstä, keskimääräinen tietokoneiden käyttöaika viikossa sekä kokemus tietokonepeleistä. Taustamuuttujista erilaisiin liikkumistapoihin oli yhteydessä ainoastaan viikoittainen tietokoneiden käyttömäärä ($F[3,63] = 3.50$, $p < .05$). *Sujuvan liikkumisen* ryhmään sekä *paikallaan olijoiden* ryhmään kuuluvat käyttivät kahteen muuhun ryhmään kuuluvia enemmän tietokoneita. Muiden taustamuuttujien suhteen ei tilastollisesti merkitseviä eroja eri liikkumistapojen välillä ilmennyt.

3.2 Liikkumistapojen yhteys kokemuksiin

Seuraavaksi vertailtiin, onko virtuaaliympäristöjen synnyttämässä kokemuksissa eroa erilailla liikkuvien ryhmien välillä. *Sujuvan liikkumisen* ryhmään kuuluvat kokivat virtuaaliympäristön persoonallisena ja läheisenä, kun taas *paikallaan olijat* persoonattomana ja etäisenä. Muut kaksi ryhmää sijoittui näiden ryhmien väliin. Ero personalisaation kokemisessa oli tilastollisesti merkitsevä ($F[3,64] = 4.06$, $p < .01$). Lisäksi *sujuvan liikkumisen* ryhmään kuuluvat arvioivat virtuaaliympäristön muita ryhmiä aidommaksi sekä vuorovaikutteisuudeltaan nopeammaksi ja monipuolisemmaksi (aitous ($F[3,64] = 3.70$, $p < .05$) ja vuorovaikutteisuus ($F[3,64] = 3.34$, $p < .05$)). *Sujuvan liikkumisen* sekä *paikallaan olijoiden* ryhmään kuuluvat kokivat olevansa kahta muuta ryhmää taitavampia käyttämään virtuaaliympäristöä. Ryhmien välinen ero taitojen suhteen oli tilastollisesti merkitsevä ($F[3,64] = 3.32$, $p < .05$). Kielteisten kokemusten osalta ryhmät erosivat toisistaan siten, että *sujuvan liikkumisen* ryhmään kuuluvat arvioivat virtuaaliympäristön muita ryhmiä vähemmän häiritseväksi ja ahdistavaksi. *Huonon hallinnan* ryhmään kuuluvat puolestaan näkivät virtuaaliympäristön muita ryhmiä ahdistavampana. Ero virtuaaliympäristön häiritsevyyden suhteen oli tilastollisesti merkitsevä ($F[3,64] = 2.83$, $p < .05$), kun taas ahdistuneisuuden

osalta ($F[3,64] = 2.27, p < .10$) ero lähestyi tilastollista merkitsevyyttä. Muiden osakomponenttien kohdalla ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Varianssianalyysin tulokset on kuvattu tarkemmin liitetaulukossa 2.

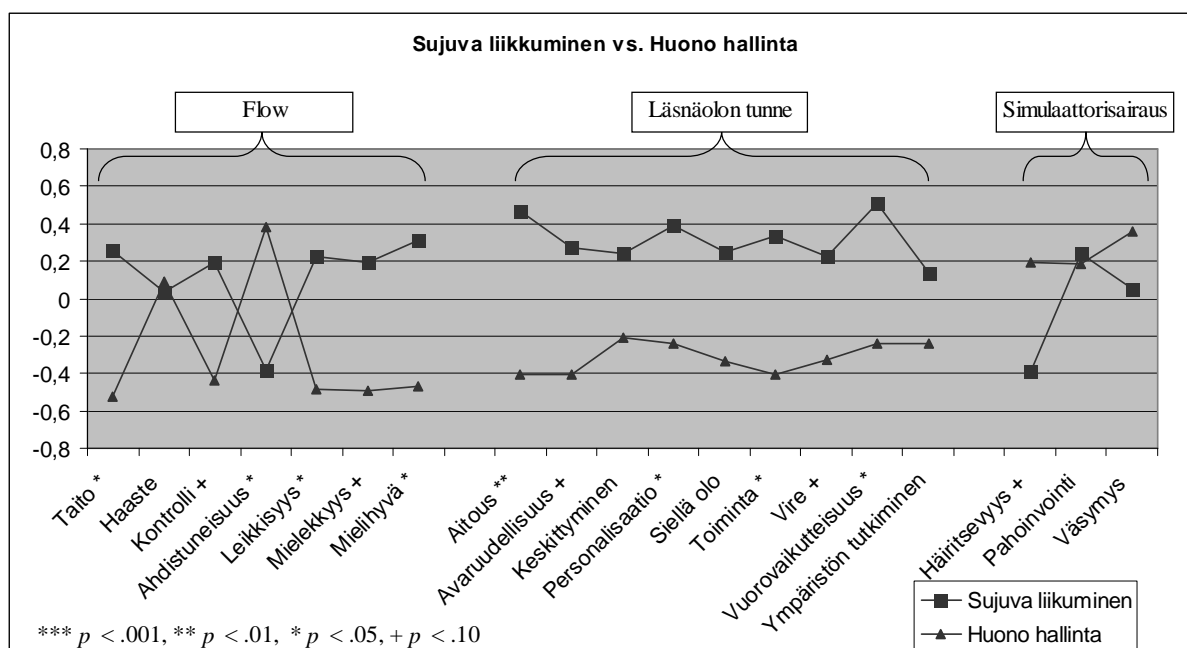
Jotta eri liikkumistapojen välisiä eroja voitaisiin tarkastella perusteellisemmin, verrattiin ryhmien välisiä eroja varianssianalyysin kontrastien avulla. Kontrastien avulla voidaan testata varianssianalyysissa yleisnollahypoteesin osahypoteeseja. Erityisesti haluttiin tarkastella miten *sujuvan liikkumisen* ryhmä eroaa muista ryhmistä. Näin ollen kontrasteja tarkasteltiin vertaamalla *sujuvan liikkumisen* ryhmän virtuaaliympäristöstä saamia kokemuksia kolmen muun ryhmän saamiin kokemuksiin. Kontrastitarkastelun tulokset on tiivistetty kuviin 6, 7 ja 8. Tulkinnan helpottamiseksi kokemusten osakomponentit on jaoteltu kuvissa karkeasti flow'n, läsnäolon tunteen ja simulaattorisairauden osakomponentteihin. Käytännössä osakomponentit eivät jakaudu puhtaasti tässä sovelletulla tavalla, sillä esimerkiksi kontrolli on myös läsnäolon tunteen kannalta keskeinen osakomponentti, kun taas keskittyminen on myös flow'n osakomponentti (esim. Novak ym., 2000; Witmer & Singer, 1998). Lisäksi virtuaaliympäristön häiritsevyys ei ole simulaattorisairauden osakomponentti (Kennedy ym., 1993).



Kuva 6. Sujuva liikkuminen -ryhmän sekä sujuva liikkuminen, mutta paikallaan -ryhmän kokemusprofiilit.

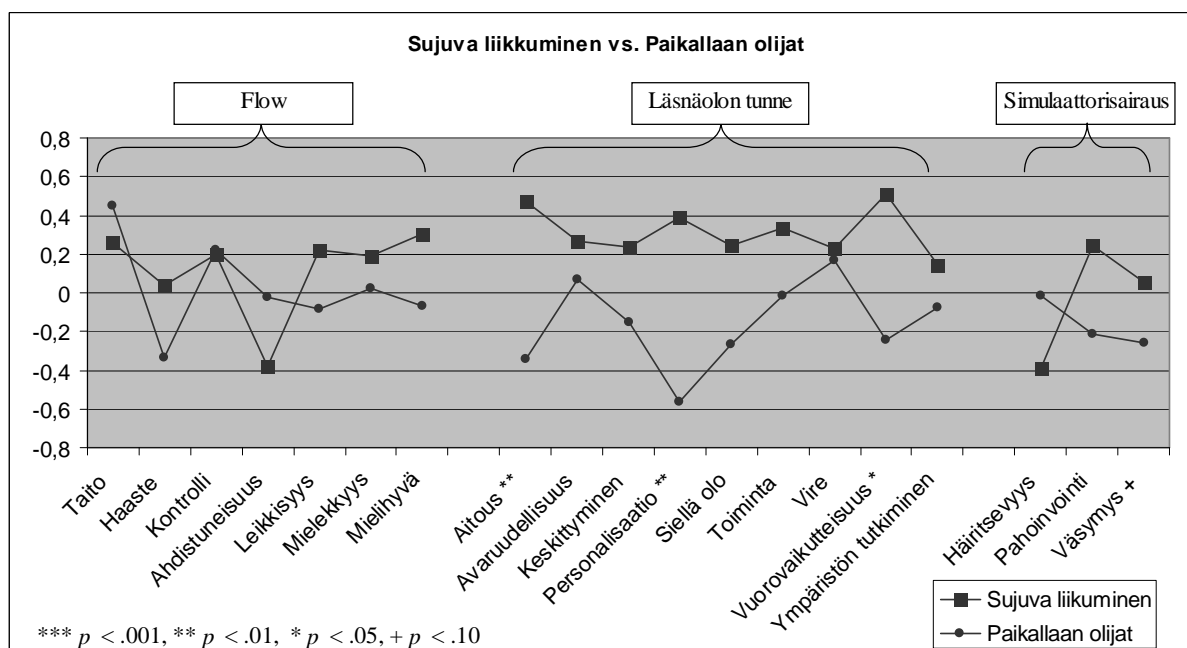
Valtaosa käyttäjistä kuului jompaankumpaan kahdesta sujuvasti liikkuneesta ryhmästä, joiden väliset erot olivat vähäisiä. *Sujuvan liikkumisen* ja *sujuvan liikkumisen, mutta paikallaan* olevien ryhmät erosivat siten, että *sujuvan liikkumisen* ryhmään kuuluvat arvioivat olevansa taitavampia käyttämään virtuaaliympäristöä, sekä kokivat sen luonnollisemmaksi, aidommaksi ja vuorovaikutukseltaan nopeammaksi ja monipuolisemmaksi kuin *sujuvan liikkumisen, mutta paikallaan* olevien ryhmään kuuluvat (taito ($t[64] = -1.81, p < .10$), aitous ($t[64] = -2.12, p < .05$) ja vuorovaikutteisuus ($t[64] = -2.66, p < .01$)). Lisäksi kielteisten kokemusten osalta eroa oli siten, että *sujuva liikkuminen, mutta paikallaan* olevien ryhmäläiset kokivat virtuaaliympäristön häiritsevämpänä ja ahdistavampana kuin *sujuva liikkuminen* ryhmäläiset (häiritsevyys ($t[64] = 2.78, p < .01$) ja ahdistuneisuus ($t[64] = 1.77, p < .10$)). Ryhmien väliset erot on havainnollistettu kuvassa 6.

Huonon hallinnan ryhmä puolestaan erosi *sujuvan liikkumisen* ryhmästä lähes kaikkien kokemuksia mittaavien osakomponenttien kohdalla (kuva 7). Kokonaisuudessaan tilastollisesti merkitsevä tai lähes tilastollisesti merkitsevä ero oli koettuja haasteita lukuun ottamatta kaikissa flow'n osakomponenteissa. *Sujuvan liikkumisen* ryhmään kuuluvat arvioivat olevansa taitavampia ja kontrolloivansa paremmin toimintaansa kuin *huonon hallinnan* ryhmään kuuluvat. Lisäksi *sujuvasti liikkuvat* kokivat toiminnan mielekkäänä, leikkisänä ja mielihyvää tuottavana, kun taas *huonon hallinnan* ryhmään kuuluvat olivat ahdistuneempia (taito ($t[64] = -2.22, p < .05$), kontrolli ($t[64] = -1.95, p < .10$), ahdistunut ($t[64] = 2.49, p < .05$), leikkisyys ($t[64] = -2.03, p < .05$), mielekkyys ($t[64] = -1.97, p < .10$) ja mielihyvä ($t[64] = -2.17, p < .05$)). Läsnaolon tunteen osakomponenteista puolestaan kaikissa muissa kuin keskittymisessä, siellä olon tunteessa ja ympäristön tutkimisessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä tai melkein merkitsevä ero. *Sujuvan liikkumisen* ryhmään kuuluvat kokivat *huonon hallinnan* ryhmää vahvemmin virtuaaliympäristön aitona, persoonallisena ja läheisenä sekä avaruudellisesti hahmotettavana tilana, jossa vuorovaikutus oli nopeaa ja monipuolista. Lisäksi *sujuvasti liikkuvat* kokivat olevansa aktiivisia toimijoita ja arvioivat viretilansa korkeaksi (aitous ($t[64] = -2.69, p < .01$), avaruudellisuus ($t[64] = -1.93, p < .10$), personalisaatio ($t[64] = -2.00, p < .05$), toiminta ($t[64] = -2.10, p < .05$), vire ($t[64] = -1.99, p < .10$) ja vuorovaikutteisuus ($t[64] = -2.25, p < .05$)). Simulaattorisairauden osakomponenttien osalta tilastollisesti merkitseviä eroja ei havaittu, joskin *huonon hallinnan* ryhmäläiset kokivat virtuaaliympäristön *sujuvan liikkumisen* ryhmäläisiä suuntaa antavasti häiritsevämpänä ($t[64] = 1.97, p < .10$)).



Kuva 7. Sujuvan liikkumisen ryhmän ja huonon hallinnan ryhmän kokemusprofiilit.

Paikallaan olijat puolestaan erosivat *sujuvan liikkumisen* ryhmästä siten, että *sujuvan liikkumisen* ryhmään kuuluvat kokivat virtuaaliympäristön persoonallisempänä ja läheisempänä ($t[64] = -3.37$, $p < .01$), aidompana ($t[64] = -2.79$, $p < .01$) ja vuorovaikutukseltaan monipuolisempänä ($t[64] = -2.51$, $p < .05$) kuin *paikallaan olijat* (kuva 8). Lisäksi *sujuvasti liikkuvat* kokivat käytön jälkeen itsensä *paikallaan olijoita* väsyneemmäksi, joskin ero oli vain marginaalisesti merkitsevä ($t[32] = -1.92$, $p < .10$).



Kuva 8. Sujuvan liikkumisen ryhmän ja paikallaan olijoiden ryhmän kokemusprofiilit.

4 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa mallinnettiin virtuaaliympäristössä liikkumista ja tarkasteltiin erilaisten liikkumistapojen yhteyttä virtuaaliympäristön synnyttämiin kokemuksiin. Liikkuminen on ihmisen toiminnan kannalta keskeinen ominaisuus, mutta siitä huolimatta ei ole olemassa vallitsevaa näkemystä siitä, miten sitä pitäisi tutkia. Tässä tutkimuksessa pystyttiin informaatioentropiaa hyödyntämällä operationalisoimaan liikkuminen tilastollisesti analysoitavaan muotoon ja tunnistamaan erilaisia liikkumistapoja sekä niihin yhteydessä olevia taustamuuttujia. Lisäksi eri liikkumistavat olivat yhteydessä virtuaaliympäristön synnyttämiin kokemuksiin. Käytetty liikkeen tarkastelutapa on uusi, sillä informaatioentropiaa ei ole aiemmin hyödynnetty liikkumisen mallinnuksessa. Niin ikään liikkumisen roolia virtuaaliympäristöjen kokemisessa ei ole vastaavalla tavalla analysoitu aikaisemmin.

4.1 Liikkumistapojen mallintaminen

Liikkumista mallinnettiin keskikiihtyvyyden, pysähdysten ja paikallaan olemisen sekä suunnanmuutoksen ja nopeuden entropian avulla. Entropiamittojen ensisijainen etu oli se, että niiden avulla pystyttiin saattamaan monimutkainen ilmiö mitattavaan ja sen myötä tilastollisesti analysoitavaan muotoon. Lisäksi on osoitettu, että entropia on liikkumisen analysoinnissa esimerkiksi keskihajontaan perustuvia jakaumia vakaampi mitta (Kim ym., 1999; Lai ym., 2005). Tämän tutkimuksen tulosten pohjalta ei kuitenkaan pystytä vertailemaan eri liikemittoja keskenään. Vertailun sijasta tässä tutkimuksessa eri liikemittojen tuottama tieto yhdistettiin mallintamaan eri liikkumistapoja.

Ryhmittelyanalyysia käyttämällä aineistosta erotettiin neljä toisistaan poikkeavaa ryhmää. Kaksi ryhmistä liikkui virtuaaliympäristössä sujuvasti, kun taas toiset kaksi eivät. Toinen erottava tekijä oli paikallaan olemisen määrä: toiset kaksi ryhmää olivat valtaosan ajasta liikkeessä, joko sujuvasti tai vähemmän sujuvasti, kun taas toiset kaksi ryhmää viettivät suuremman osan ajasta paikallaan. Osaltaan erilaiset liikkumistavat saattoivat olla seurausta siitä, että koehenkilöt suorittivat etsintätehtävää. Tällöin runsas paikallaan oleminen kuvastaa sitä, että koehenkilöt ovat pyrkineet katseellaan etsimään poikkeavia esineitä sen sijaan, että he olisivat etsineet niitä liikkumalla, mikä tukee aiempien tutkimusten havaintoja (Lathrop & Kaiser, 2005; Ruddell & Jones, 2001). Erilaiset etsimisstrategiat eivät kuitenkaan poikenneet

tehokkuudeltaan tässä tutkimuksessa, sillä valtaosa käyttäjistä löysi kaikki asuntoon kuulumattomat esineet.

Erilaisia liikkumistapoja tarkasteltiin myös taustamuuttujien suhteen. Taustamuuttujista ainoastaan viikoittainen tietokoneiden käyttömäärä oli yhteydessä eri liikkumistapoihin siten, että runsaasti tietokonetta käyttävät kuuluivat joko sujuvasti liikkuvien tai paikallaan olevien ryhmään. Kaikki runsaasti tietokoneita käyttävät eivät kuitenkaan liikkuneet sujuvasti virtuaaliympäristössä. Käytetty virtuaaliympäristö poikkesi tavanomaisesta tietokoneiden käytöstä sen verran paljon, ettei tietokoneiden käyttötaidoista ollut selvää etua ympäristössä liikkumiseen. Tämä tukee aiempia suosituksia kaikille käyttäjille tarjottavasta ohjatusta liikkumisharjoittelusta ennen virtuaaliympäristöjen käyttöä (Sayers, 2004), joskaan liikkumistaan huonosti hallinneiden käyttäjien kohdalla tämä ei selvästikään ollut riittävää.

4.2 Liikkumisen rooli kokemuksissa

Hypoteesin mukaisesti sujuva liikkuminen virtuaaliympäristössä oli yhteydessä korkeaan läsnäolon tunteeseen. Sujuvasti liikkuvat käyttäjät kokivat virtuaaliympäristön aidompana ja vuorovaikutukseltaan monipuolisempana kuin muut käyttäjät. Lisäksi verrattuna huonoiten hallinnassa olleisiin käyttäjiin, sujuvasti liikkuvat käyttäjät kokivat virtuaaliympäristön selvästi enemmän läsnäolon tunteen synnyttävänä ympäristönä. Tulos vahvistaa aiemmassa tutkimuksessa esitetyn näkemyksen virtuaaliympäristön käytön sujuvuuden yhteydestä korkeaan läsnäolon tunteeseen (Novak ym., 2000; Schubert ym., 2001; Schuemie ym., 2001; Witmer & Singer, 1998). Sujuva liikkuminen virtuaaliympäristössä edellyttää, että käyttäjällä ei ole suuria ongelmia käyttöliittymän kanssa. Liikkumisen sujuvuuden ja läsnäolon tunteen välillä havaittu yhteys osoittaa, että sujuvasti liikkuvien ei tarvitse kiinnittää huomiota käyttöliittymään, mikä edesauttaa käyttäjiä uppoutumaan virtuaaliympäristöön (Lombard & Ditton, 1997). Lisäksi sujuvasti liikkuvat kokivat virtuaaliympäristön myös muita käyttäjiä persoonallisempana ja läheisempänä tilana. Vaikka virtuaaliympäristön kokeminen persoonallisena ja läheisenä on esitetty olevan sosiaalisen läsnäolon tunteen osakomponentti (Heeter, 1992; Lombard & Ditton, 1997), ei tämän tutkimuksen virtuaaliympäristössä ollut kuin yksi käyttäjä kerrallaan. Näin ollen sosiaalisen läsnäolon tunteen merkitystä ei ole mielekäästä analysoida tarkemmin. Sen sijaan sujuvan liikkeen ja virtuaaliympäristön persoonalliseksi kokemisen yhteys tukee näkemystä persoonalliseksi koettujen sovelluksien ja toiminnan tehokkuuden yhteydestä (Rice, 1992).

Runsaan paikallaan olemisen ja läsnäolon tunteen välillä vallitsi puolestaan käänteinen yhteys. Osaltaan tulos selittyy paikallaan olemisen ja matalan vuorovaikutuksellisuuden yhteydellä ja tukee vuorovaikutuksen monipuolisuuden merkitystä läsnäolon tunteen osakomponenttina (Lessiter ym., 2001; Schubert ym., 2001; Slater ym., 1998). Lisäksi paikallaan oleminen oli yhteydessä siihen, että virtuaaliympäristöä ei koettu aitona ja uskottavana tilana. Yhteys oli havaittavissa kummallakin runsaasti paikallaan olleella ryhmällä. Toisin sanoen virtuaaliympäristön aidoksi kokeminen oli yhteydessä siihen, että käyttäjä oli pääosan ajasta liikkeessä. Silloin kun käyttäjä on suurimman osan ajasta liikkeessä, vahvistaa niin kutsuttu liikeparallaksi (*engl.* motion parallax) vaikutelmaa ympäristön kolmiulotteisuudesta ja edelleen virtuaaliympäristön aitoudesta (Rogers & Graham, 1979; Wexler & van Boxtel, 2005). Tulosten perusteella vaikuttaisi, että liikeparallaksin tuoma lisäarvo edellyttää sujuvaa liikkumista. Paikallaan olemisen yhteys koettuun epäaitouteen voi myös liittyä tutkimuksessa käytetyn virtuaaliympäristön grafiikan heikkouteen. Virtuaaliympäristöjen muodostamiseen vaadittava suuri laskentateho asettaa rajoituksia sille, kuinka näyttävää grafiikkaa pystytään käyttämään (Biocca, 1992; Cruz-Neira ym., 1992). Näin ollen runsaasti paikallaan olleet käyttäjät luultavasti arvioivat virtuaaliympäristön aitoutta enemmän grafiikan näyttävyyden perusteella, kun taas pääosin sujuvassa liikkeessä olleet käyttäjät arvioivat aitoutta enemmän liikkumisen vahvistaman kolmiulotteisuusvaikutelman perusteella.

Tutkimuksen toinen hypoteesi sujuvan virtuaaliympäristössä liikkumisen yhteydestä käyttäjien arvioon ympäristön korkeasta haasteellisuudesta sekä hyvistä käyttötaidoista sai myös tukea. Sujuvasti liikkuvat ja pääosin paikallaan olleet käyttäjät kokivat itsensä kahta muuta käyttäjäryhmää taitavammaksi käyttämään virtuaaliympäristöä. Sujuvasti liikkuneet käyttäjät oppivat hallitsemaan liikkeitänsä huolimatta tehtävän lyhyestä kestosta. Haasteen kohdalla ei tilastollisesti merkitseviä eroja ilmennyt, joskin paikallaan olleilla käyttäjillä oli taipumus arvioida käyttäminen muita ryhmiä vähemmän haasteelliseksi. Sujuvasti liikkuvat kokivat kohtalaisen haasteellisuuden ja korkeiden taitojen lisäksi itsensä leikkisäksi ja virtuaaliympäristön mielihyvää herättäväksi eli heidän arvioitiin toimineen flow-tilassa (Csikszentmihalyi, 1975; Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1988). Näin ollen tulokset tukevat aiempia havaintoja flow'n ja oppimisen yhteydestä (Hoffman & Novak, 1996; Skadberg & Kimmel, 2004). Myös pääosin paikallaan olleet käyttäjät kokivat itsensä taitaviksi, mutta virtuaaliympäristön käyttö ei ollut riittävän haasteellista, jonka vuoksi heidän arvioitiin olleen tylsistyneitä. Loput kaksi käyttäjäryhmää kokivat käytön haasteelliseksi, mutta käyttötaitonsa riittämättömiksi, joka selittänee heidän korkeaksi arvioimansa

ahdistuneisuuden. Tulokset ovat Massiminin ja Carlin (1988) esittämän nelikanavaisen flow-mallin mukaisia.

Liikkumisen mallintaminen osoittautui kohtalaiseksi käyttötaitojen mittaumenetelmäksi. Liikkumisen huonon hallinnan avulla erottuivat ne käyttäjät, joiden kohdalla käyttötaidot olivat selvästi riittämättömät. Riittämättömien käyttötaitojen tunnistaminen on tärkeää, jotta pystytään tarjoamaan kohdennettua opastusta sitä tarvitseville käyttäjille (Sayers, 2004). Sen sijaan pelkän liikkumisen sujuvuuden perusteella ei voitu tunnistaa taidoiltaan hyviä käyttäjiä. Kahdesta runsaasti paikallaan olleista ryhmistä toiseen kuuluvat kokivat olevansa hyvin taitavia käyttäjiä, kun taas toisen ryhmän jäsenet kokivat taitonsa riittämättömiksi sujuvasta liikkumistavastaan huolimatta. Sitä vastoin tulokset viittaavat siihen, että paljon tietokoneita käyttävät koehenkilöt kokivat olevansa taitavia käyttämään virtuaaliympäristöä, riippumatta siitä, oliko heidän liikkumisensa sujuvaa vai ei. Näin ollen liikkumisen sujuvuus tarjoaa käyttäjän omaa arviota objektiivisemmän arvion käyttötaidoista (Finneran & Zhang, 2005).

Sujuvasti liikkuvat käyttäjät kokivat käyttöliittymän häiritsevän virtuaaliympäristössä toimimista vähemmän kuin muut ryhmät. Tämä oli yhteydessä sujuvasti liikkuvien korkeampaan läsnäolon tunteeseen. Tulos tukee aiemmin esitettyä näkemystä käyttöliittymän vähäisen häiritsevyyden merkityksestä läsnäolon tunteen edellytyksenä (Lombard & Ditton, 1997). Tulokset eivät kuitenkaan mahdollista kausaalisten päätelmien tekoa sen suhteen onko vähäisempi häiritsevyys läsnäolon tunteen syy vai seuraus. Varsinaisten simulaattorisairausten oireiden osalta eri liikeryhmien väliset erot olivat vähäisiä. Sujuvasti liikkuvat käyttäjät raportoivat enemmän väsymysoireita kuin runsaasti paikallaan olleet käyttäjät. Tämä oli seurausta heidän tekemistään suuremmista suunnanmuutosten ja nopeuden vaihteluista. Vastaavia tuloksia on raportoitu myös muissa tutkimuksissa (LaViola, 2000; McCauley & Sharkey, 1992). Sen sijaan tulokset eivät tukeneet väitettä runsaan paikalla olemisen yhteydestä simulaattorisairausten oireisiin (Duh ym., 2001). Rungas paikallaan olo ei siis johtunut käyttäjien pyrkimyksestä lievittää kokemiaan oireita, joskin paikallaan olo saattoi ennaltaehkäistä simulaattorisairausoireiden syntymistä. Vastoin odotuksia liikkumistaan huonoiten hallinnut ryhmä ei raportoinut muita ryhmiä enemmän simulaattorisairausten oireita. Tämä voi johtua tutkimuksessa käytetyn tehtävän suhteellisen lyhyestä kestosta, jonka seurauksena simulaattorisairausten oireet eivät ehtineet tulla esille (Jones ym., 2004; Stanney & Hash, 1997).

Kokonaisuudessaan erilaiset liikkumistavat virtuaaliympäristöissä olivat yhteydessä erilaisiin kokemuksiin. Eroja ilmeni havaintoprosessien, kognitioiden sekä affektiivisten tekijöiden kohdalla, minkä vuoksi on mielekästä puhua kokemusten eroista, sen sijaan, että tulokset tulkittaisiin yksittäisten tekijöiden prosessoinnin poikkeavuuksina (Hilgard, 1980). Liikkumistapojen yhteys läsnäolon tunteeseen tukee näkemystä havaitsemisesta aktiivisena prosessina (Gibson, 1979; Järvilehto, 1999). Taustoiltaan hyvin samanlaiset käyttäjät toimivat kaikki samanlaisessa virtuaaliympäristössä ja tekivät samaa tehtävää. Lisäksi suurin osa käytti virtuaaliympäristöä ensimmäistä kertaa. Näin ollen erot käyttäjien tavassa liikkua vaikutti siihen millaisena he havaitsivat virtuaaliympäristön. Vastaavasti kahdesta sujuvasti liikkuneesta ryhmästä toiseen kuuluvat kokivat taitonsa vähäiseksi, mikä oli yhteydessä virtuaaliympäristön kokemiseen ahdistavana. Nämä käyttäjät siis arvioivat käyttötaitonsa huonoiksi huolimatta siitä, että heidän liikkumisensa oli sujuvaa. Käyttäjien kognitiivinen arvio taitojen ja haasteiden tasosta vaikutti tilanteesta muodostettuun affektiiviseen arvioon, mikä on linjassa Lazaruksen (1991) emotioteorian kanssa.

4.3 Tutkimuksen rajoitukset ja jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuksen keskeisin rajoitus on otoksen suhteellisen pieni koko, joka asettaa rajoituksia tulosten yleistettävyydelle. Lisäksi sukupuolijakauman epätasaisuuden vuoksi tulosten yleistettävyys naisten kohdalla kärsii. Otsokoko vaikuttaa myös arviointimenetelmien luotettavuuteen. Kokemusten mittaamisessa käytettyjen muuttujien määrä oli otoskokoon nähden runsas, mikä vaikeuttaa tulosten luotettavaa tulkintaa. Tutkittaessa ihmisten kokemuksia kattavasti sekä kognitioiden että emotioiden osalta ei kuitenkaan voida tyytyä vähäiseen määrään muuttujia. Simulaattorisairauden kohdalla tyydyttiin lyhennettyyn versioon SSQ-oirekyselystä. Tästä johtuen tämän tutkimuksen tulokset eivät ole täysin vertailtavissa aiempaan simulaattorisairautta koskevaan tutkimukseen. Myös yleisemmin kokemusten mittaamisessa aiemman tutkimuksen vähyys vaikeuttaa tulosten vertailua, joskin samasta syystä tämän tutkimuksen tulosten merkitys korostuu.

Liikkuminen on hyvin monitekijäinen toiminto, mikä tekee sen mallintamisesta haastavaa. Informaatioentropiaa on toistaiseksi sovellettu vain yksinkertaisten liikkeiden tutkimiseen, joten sen soveltumisesta monimutkaisemman liikkumisen tutkimiseen ei ole vielä riittävästi tietoa. Lisäksi entropiamittojen laskemista varten tarvittavat tiedot jouduttiin jokaisen koehenkilön osalta syöttämään laskentaohjelmaan manuaalisesti, mikä oli työläs prosessi.

Tosin uusien menetelmien soveltamiseen liittyy usein kuvatun kaltaisia käytännön ongelmia. Myös sovellettu analyysimenetelmä asettaa tulosten yleistettävyydelle rajoituksia. Erilaisten liikkumistapojen tunnistamisessa käytetty ryhmittelyanalyysi on altis muodostamaan ryhmiä myös silloin kun niitä ei todellisuudessa ole. Tätä ongelmaa rajattiin tulosten huolellisella validoinnilla. Tutkimuksessa sovellettu tapa yhdistää informaatioentropian tuottama tieto muihin liikemittareihin osoittautui lupaavaksi liikkumisen mittaustavaksi. Tuloksissa ei kuitenkaan tarkasteltu informaatioentropian toimivuutta muihin liikkumisen mittausten verrattuna, eikä näin ollen sen käyttökelpoisuuteen voida ottaa suoraan kantaa. Tulevaisuudessa olisikin syytä tutkia systemaattisesti erilaisten liikkumisen mittaustapojen eroja.

Jatkossa käytettyä liikkumisen mallintamistapaa voitaisiin soveltaa myös muussa liikeanalysointia vaativassa tutkimuksessa. Esimerkiksi silmänliikekameran avulla kerättyä tietoa voitaisiin kvantifioida sijainnin entropian avulla. Vastaavasti silmänliikemittausten avulla voitaisiin tutkia tarkemmin eri liikkumistapoja, kuten verrata runsaasti paikallaan olevien käyttäjien silmänliikkeitä jatkuvasti liikkuvien käyttäjien silmänliikkeisiin. Myös tietokonepelien tutkimuksessa voitaisiin tässä tutkimuksessa esitetyllä menetelmällä analysoida pelaajien liikkumista, sillä liiketiedot voidaan tallentaa lokitiedostoihin. Virtuaaliympäristöjen kohdalla suunnanmuutoksen ja nopeuden entropiaa rekisteröimällä voitaisiin tunnistaa esimerkiksi tiettyjen raja-arvojen ylittyessä käyttäjän tarvitsevan lisäopastusta liikkumiseen. Vaihtoehtoisesti raja-arvojen ylittyessä voitaisiin liikeohjausalgoritmiin asetettujen lisämääreiden avulla automaattisesti ”pehmentää” käyttäjän antamia ohjauskomentoja, ja näin ollen tehdä liikkeestä sujuvampaa. Tämänkaltaisista käyttäjän liikkumista ohjaavista algoritmeista on saatu lupaavia tuloksia (Ruddle & Jones, 2001).

4.4 Loppupäätelmät

Virtuaaliympäristöt tulevat lähitulevaisuudessa yleistymään sekä yksityis- että tutkimuskäytössä. Silti tässä tutkimuksessa käytetyn EVE:n kaltaiset virtuaaliympäristöt tuskin koskaan yleistyvät jo pelkästään tilavaatimustensa vuoksi, mutta sen sijaan päähän ripustettavien näyttöjen varaan rakennetut virtuaaliympäristöt ovat pian arkipäivää (Lanier, 2001). Tämän vuoksi on tärkeä tunnistaa mitä psykologisia tekijöitä virtuaaliympäristöjen käyttöön liittyy. Vaikka todellisen ympäristön ja virtuaaliympäristön sekoittuminen on

tieteiskirjallisuutta, voidaan päivä päivältä toteuttaa entistä uskottavampia ja todentuntuisempia virtuaalimaailmoja (Tarr & Warren, 2002). Samalla tarjoutuu mahdollisuus tutkia ihmisen käyttäytymistä kontrolloidussa, mutta ekologisesti validissa ympäristössä. Tällöin on entistä tärkeämpää tunnistaa ja ymmärtää mitä erityispiirteitä virtuaaliympäristöjen käyttöön sekä käytön myötä saatuihin kokemuksiin liittyy.

Ihmisen toiminnan ja kokemusten tutkiminen virtuaaliympäristöissä ei olisi tieteen kannalta kovinkaan mielekästä, mikäli tuloksia ei voisi yleistää todelliseen ympäristöön. Liikkumisen osalta on osoitettu, että virtuaaliympäristössä liikutaan samaan tapaan kuin luonnollisessa ympäristössä (Zacharias, 2006). Näin ollen tämän tutkimuksen tulokset ovat yleistettävissä laajemmin liikkumisen ja kokemusten tarkasteluun. Vielä ei voida tyhjentävästi sanoa miksi toisilla on huvipuistossa toisia hauskenpaa, mutta mikäli liikkumisella epäillään olevan osuutta siihen, tämä tutkimus osoittaa, että liikkumistapoja voidaan mallintaa, ja erilaiset liikkumistavat ovat yhteydessä erilaisiin kokemuksiin.

Lähteet:

- Araujo, D. B., Tedeschi, W., Santos, A. C., Elias Jr., J., Neves, U. P. C. & Baffa, O. (2003) Shannon entropy applied to the analysis of event-related fMRI time series. *NeuroImage*, 20, 311–317.
- Biocca, F. (1992) Virtual reality technology: A tutorial. *Journal of Communication*, 42, 23–72.
- Burdea, G. C. & Coiffet, P. (2003) *Virtual reality technology*. 2. painos. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Chen, H., Wigand, R. T. & Nilan, M. S. (1999) Optimal experience of Web activities. *Computers in Human Behavior*, 15, 585–608.
- Clausius, R. (1865/1935) Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie. *Annalen der Physik und Chemie*, 201, 353–400. Käännetty ja lyhennetty teoksessa W. F. Magie (Toim.), *A source book in physics*. New York: McGraw-Hill. Haettu 1.2.2007 osoitteesta: <http://webserver.lemoyne.edu/faculty/giunta/Clausius.html>
- Cohen, P. R., Johnston, M., McGee, D., Oviatt, S., Pittman, J., Smith, I., Chen, L. & Clow, J. (1997) QuickSet: Multimodal interaction for distributed applications. *Proceedings of the fifth ACM international conference on Multimedia*, November 9–13, Seattle, United States, 31–40.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V. & Hart, J. C. (1992) The CAVE: Audio visual experience automatic virtual environment. *Communications of the ACM*, 35, 64–72.
- Csikszentmihalyi, M. (1975) *Beyond boredom and anxiety: Experiencing flow in work and play*. San Fransisco: Jossey-Bass.
- Csikszentmihalyi, M., & Csikszentmihalyi, I (1988). Introduction to part IV. Teoksessa M. Csikszentmihalyi & I. Csikszentmihalyi (Toim.), *Optimal experience: psychological studies of flow in consciousness* (ss. 251–265). New York: Cambridge University Press.
- Delp, S. L., Loan, P., Basdogan, C. & Rosen, J. M. (1997) An emerging technology for training in emergency medicine. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 147–159.
- Draper, S. W. (1999) Analysing fun as a candidate software requirement. *Personal Technologies*, 3, 117–122.

- Duh, H. B.-L., Parker, D. E. & Furness, T. A. (2001) An “independent visual background” reduced balance disturbance evoked by visual scene motion: Implication for alleviating simulator sickness. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, Seattle, United States, 85–89.
- Finneran, C. M. & Zhang, P. (2005) Flow in computer-mediated environments: Promises and challenges. *Communications of the Association for Information Systems*, 15, 82–101.
- Freeman, J., Avons, S. E., Meddis, R., Pearson D. E. & Ijsselstein, W. (2000) Using behavioral realism to estimate presence: A study of the utility of postural responses to motion stimuli. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9, 149–164.
- Fontaine, G. (1992). The experience of a sense of presence in intercultural and international encounters. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1, 482–490.
- Germanchis, T., Pettit, C. & Cartwright, W. (2004) Building a three-dimensional geospatial virtual environment on games technology. *Journal of Spatial Science*, 49, 89–96.
- Ghani, J. A. (1995) Flow in Human Computer Interactions: Test of a Model. Teoksessa J. Carey (Toim.), *Human factors in information systems: emerging theoretical bases* (ss. 291–311). New Jersey: Ablex Publishing Corp.
- Ghani, J. A. & Deshpande, S. P. (1994) Task characteristics and the experience of optimal flow in human-computer interaction. *Journal of Psychology*, 128, 381–391.
- Gibson, J. J. (1979) *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. & Tatham, R. L. (2006) *Multivariate data analysis*. 6. painos. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Halvorsrud, R. & Hagen, S. (2004) Designing a collaborative virtual environment for introducing pupils to complex subject matter. *Proceedings of the Third Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, October 23–27, Tampere, Finland, 121–130.
- Hand, C. (1997) A survey of 3D interaction techniques. *Computer Graphics Forum*, 16, 269–281.
- Heeter, C. (1992) Being there: The subjective experience of presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1, 262–271.
- Hilgard, E. R. (1980) The trilogy of mind: cognition, affection, and conation. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, 16, 107–117.
- Hillier, B., Major, M. D., Desyllas, J., Karimi, K., Campos, B. & Stonor, T. (1996) Tate Gallery, Millbank: A study of the existing layout and new masterplan proposal. Technical report, Bartlett School of Graduate Studies, University College London.

- Hoffman, D. L. & Novak, T. P. (1996) Marketing in hypermedia computer-mediated environments: Conceptual foundations. *Journal of Marketing*, 60, 50–68.
- Hsu, C. L. & Lu, H. P. (2004) Why do people play on-line games? An extended TAM with social influences and flow experience. *Information & Management*, 41, 853–868.
- Ijsselsteijn, W. A., de Ridder, H., Freeman, J. & Avons, S. E. (2000) Presence: Concept, determinants and measurement. *Proceedings of the SPIE, Human Vision and Electronic Imaging V*, January 23–28, San Jose, USA, 3959–3976.
- Ijsselsteijn, W. A. & Riva, G. (2003) Being there: The experience of presence in mediated environments. Teoksessa G. Riva, F. Davide & W. A. Ijsselsteijn (Toim.) *Being there: concepts, effects and measurement of user presence in synthetic environments* (ss. 3–17). Amsterdam: Ios Press.
- Ijsselsteijn, W. A., de Ridder, H., Freeman, J., Avons, S. E. & Bouwhuis, D. (2001) Effects of stereoscopic presentation, image motion, and screen size on subjective and objective corroborative measures of presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10, 298–311.
- Iwata, H. (1999) Walking about virtual environments on an infinite floor. *Proceedings of IEEE Virtual Reality Conference*, March 13–17, Houston, USA, 286–293.
- Jalkanen, J. (2000) Building a spatially immersive display - HUTCAVE. *Tietojenkäsittelytieteen lisensiaatintyö*, Helsingin Teknillinen korkeakoulu.
- Jones, M. B., Kennedy, R. S. & Stanney, K. M. (2004) Toward systematic control of cybersickness. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 13, 589–600.
- Järvilehto, T. (1999) The theory of the organism-environment system: III. Role of efferent influences on receptors in the formation of knowledge. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, 34, 90–100.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993) Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3, 203–220.
- Kim, S., Carlton, L. G., Liu, Y.-T. & Newell, K. M. (1999). Impulse and movement space-time variability. *Journal of Motor Behavior*, 31, 341–357.
- Kim, T. & Biocca, F. (1997) Telepresence via television: Two dimensions of telepresence may have different connections to memory and persuasion. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3, Haettu 1.2.2007 osoitteesta <http://jcmc.indiana.edu/vol3/issue2/kim.html>

- Laakso, M. (2001) Practical navigation in virtual architectural environments. Tietoliikenneohjelmistojen ja multimedian laboratorion pro gradu -tutkielma, Helsingin Teknillinen korkeakoulu.
- Lai, S.-C., Mayer-Kress, G., Sosnoff, J. J. & Newell, K. M. (2005) Information entropy analysis of discrete aiming movements. *Acta Psychologica*, 119, 283–304.
- Lanier, J. (2001) Virtually there. *Scientific American*, 284, 66–75.
- Lathrop, W. B. & Kaiser, M. K. (2005) Acquiring spatial knowledge while traveling simple and complex paths with immersive and nonimmersive interfaces. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14, 249–263.
- LaViola, J. J. (2000) A discussion of cybersickness in virtual environments. *ACM SIGCHI Bulletin*, 32, 47–56.
- Lazarus, R. S. (1991) Progress on a cognitive-motivational-realtional theory of emotion. *American Psychologist*, 46, 819–834.
- Lessiter, J., Freeman, J., Keogh, E. & Davidoff, J. D. (2001). A cross-media presence questionnaire: The ITC-sense of presence inventory. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10, 282–297.
- Loftin, R. B. & Kenney, P. (1995) Training the Hubble space telescope flight team. *Computer Graphics and Applications*, 15, 31–37.
- Lombard, M. & Ditton, T. (1997) At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3, Haettu 1.2.2007 osoitteesta: <http://jcmc.indiana.edu/vol3/issue2/lombard.html>
- Massimini, F. & Carli, M. (1988) The systematic assessment of flow in daily experience. Teoksessa M. Csikszentmihalyi & I. Csikszentmihalyi (Toim.), *Optimal experience: psychological studies of flow in consciousness*, (ss. 288–306). New York: Cambridge University Press.
- McCauley, M. E. & Sharkey, T. J. (1992) Cybersickness: Perception of self-motion in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1, 311–318.
- Modjeska, D. & Waterworth, J. (2000) Effects of desktop 3D world desing on user navigation and search performance. *Proceedings of International Conference on Information Visualization*, July 19–21, London, England, 215–220.
- Moneta, G. B. & Csikszentmihalyi, M. (1996) The effect of percieved challenges and skills on the quality of subjective experience. *Journal of Personality*, 64, 275–310.
- Moshell, M. (1993) Virtual environments in the US military. *Computer*, 26, 81–82.

- Nichols, S. & Patel, H. (2002) Health and safety implications of virtual reality: A review of empirical evidence. *Applied Ergonomics*, 33, 251–271.
- Novak, T. P., Hoffman, D. L. & Yung, Y.-I. (2000) Measuring the customer experience in online environments: A structural modeling approach. *Marketing Science*, 19, 22–42.
- Oviatt, S. (1997) Multimodal interactive maps: Designing for human performance. *Human-Computer Interaction*, 12, 93–129.
- Paninski, L. (2003) Estimation of entropy and mutual information. *Neural Computation*, 15, 1191–1253.
- Pierce, J. R. (1980) *An introduction to information theory: symbols, signals & noise*. 2. Pains. New York, NY: Dover Publications.
- Pilke, E. M. (2004) Flow experiences in information technology use. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61, 347–357.
- Rice, R. E. (1992) Task analyzability, use of new media, and effectiveness: A multi-site exploration of media richness. *Organization Science*, 3, 475–500.
- Robertson, G. G., Card, S. K. & Mackinlay, J. D. (1993) Three views of virtual reality: Nonimmersive virtual reality. *Computer*, 26, 81–83.
- Rogers, B. & Graham, M. (1979). Motion parallax as an independent cue for depth perception. *Perception*, 8, 125–134.
- Rolland, J. P., Davis, L. D. & Baillot, Y. (2001) A survey of tracking technologies for virtual environments. Teoksessa B. Woodrow & T. Caudell (Toim.) *Fundamentals of wearable computers and augmented reality* (ss. 67–113). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Ruddle, R. A. & Jones, D. M. (2001) Movement in cluttered virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10, 511–524.
- Ruddle, R. A., Payne, S. J. & Jones, D. M. (1997) Navigating buildings in "desk-top" virtual environments: Experimental investigations using extended navigational experience. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3, 143–159.
- Sayers, H. (2004) Desktop virtual environments: a study of navigation and age. *Interacting with Computers*, 16, 939–956.
- Sas, C. & O'Hare, G. M. P. (2003) Presence equation: An investigation into cognitive factors underlying presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 12, 523–537.
- Schubert, T., Friedmann, F. & Regenbrecht, H. (1999) Embodied presence in virtual environments. Teoksessa R. Paton & I. Neilson (Toim.), *Visual representations and interpretations* (ss. 269–278). Lontoo: Springer-Verlag.

- Schubert, T., Friedmann, F. & Regenbrecht, H. (2001) The experience of presence: Factor analytic insights. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10, 266–281.
- Schuemie, M. J., van der Straaten, P., Krijn, M. & van der Mast, C. A. P. G. (2001) Research on presence in virtual reality: A Survey. *CyberPsychology & Behavior*, 4, 183–201.
- Sethna, J. P. (2006) *Entropy, order parameters and complexity*. Oxford: Clarendon Press.
- Sheridan, T. B. (1996) Further musings on the psychophysics of presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5, 241–246.
- Shultz, D. P. & Shultz, S. E. (2003) *A history of modern psychology*. 8. painos. New York: Wadsworth.
- Skadberg, Y. X. & Kimmel, J. R. (2004) Visitors' flow experience while browsing a Web site: its measurement, contributing factors and consequences. *Computers in Human Behavior*, 20, 403–422.
- Slater, M., Linakis, V., Usoh, M. & Kooper, R. (1996) Immersion, presence and performance in virtual environments: An experiment with tri-dimensional chess. *Proceedings of Virtual Reality Software and Technology*, July 1–4, Hong Kong, China, 163–172.
- Slater, M., Steed, A., McCarthy, J. & Maringelli, F. (1998) The influence of body movement on subjective presence in virtual environments. *Human Factors*, 40, 469–477.
- Slater, M., Usoh, M. & Steed, A. (1995) Taking steps: The influence of a walking technique on presence in virtual reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 2, 201–219.
- Stanney, K. M. & Hash, P. (1997) Locus of user-initiated control in virtual environments: Influences on cybersickness. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7, 447–459.
- Stanney, K. M., Mourant, R. R. & Kennedy, R.S. (1998) Human factors issues in virtual environments: A review of the literature. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7, 327–351.
- Stergiou, N., Buzzi, U. H., Kurz, M. J. & Heidel, J. (2004) Nonlinear tools in human movement. Teoksessa N. Stergiou (Toim.), *Innovative analyses of human movement* (ss. 76–84). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42, 73–93.

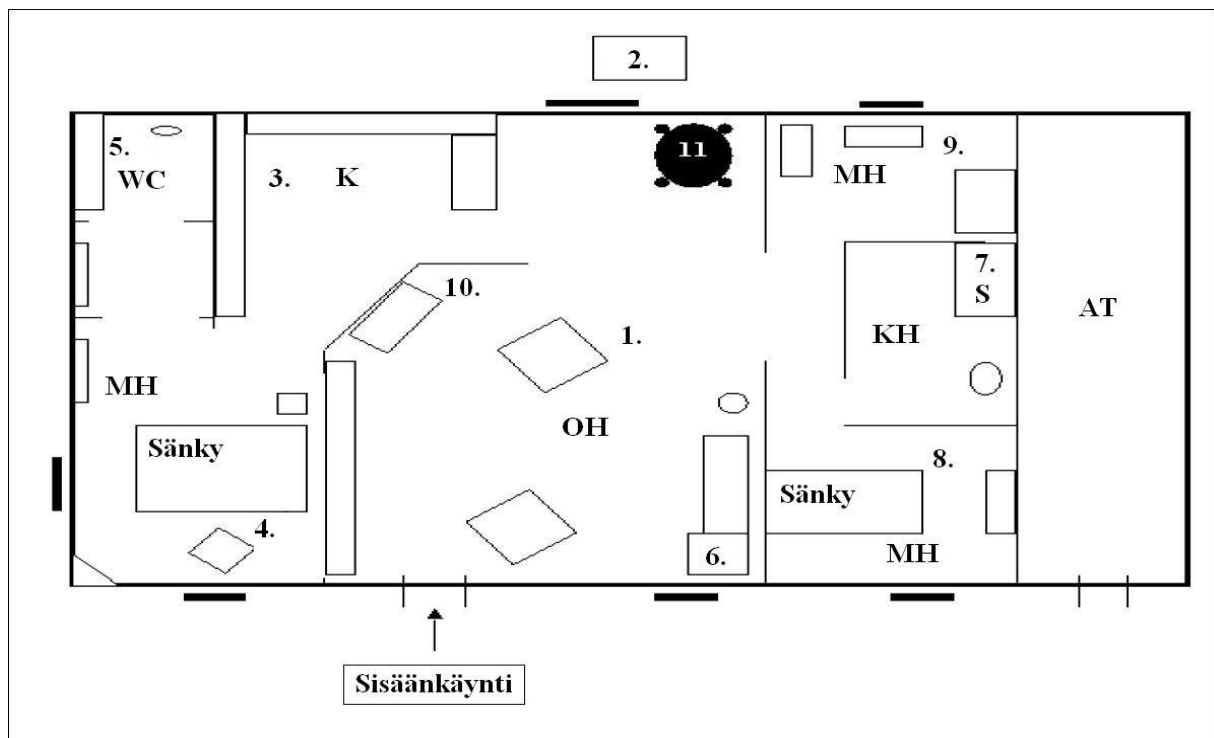
- Särkelä, H., Takatalo, J., Komulainen, J., Nyman, G. & Häkkinen, J. (2004) Attitudes to a new technology and experiential dimensions of two different digital games. Proceedings of the Third Nordic Conference on Human-Computer Interaction, October 23-27, Tampere, Finland, 349–352.
- Takatalo, J. (2006) Presence and flow in virtual environments: An explorative study. Psykologian lisensiaatintyö. Helsingin yliopisto.
- Takatalo, J., Häkkinen, J., Kaistinen, J., Komulainen, J., Särkelä, H. & Nyman, G. (2006) Adaptation into a game: Involvement and presence in four different PC-games. Proceedings of Future Play 2006, October 10–12, London, Canada.
- Takatalo, J., Häkkinen, J., Komulainen, J., Särkelä, H. & Nyman, G. (2004) The experiential dimensions of two computer games. 7th Annual International Workshop on Presence, Presence 2004, October 13–15, Valencia, Spain, 274–278.
- Tarr, M. J. & Warren, W. H. (2002) Virtual reality in behavioral neuroscience and beyond. *Nature Neuroscience*, 5, 1089–1092.
- Tollmar, K., Demirdjian, D. & Darrell, T. (2004) Navigating in virtual environments using a vision-based interface. Proceedings of the Third Nordic Conference on Human-Computer Interaction, October 23–27, Tampere, Finland, 113–120.
- Turner, A. & Penn, A. (2002) Encoding natural movement as an agent-based system: An investigation into human pedestrian behaviour in the built environment. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 29, 473–490.
- Usuh, M., Arthur, K., Whitton, M. C., Bastos, R., Steed, A., Slater, M. & Brooks Jr., F. P. (1999) Walking > walking-in-place > flying, in virtual environments. Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, August 8–13, Los Angeles, USA, 359–364.
- Youngblut, C. (1998). Educational uses of virtual reality technology. IDA document report number D-2128. Alexandria, VA: Institute for Defense Analyses. Haettu 1.2.2007 osoitteesta: <http://www.hitl.washington.edu/scivw/youngblut-edvr/D2128.pdf>
- Waller, D. (2005) The WALKABOUT: Using virtual environments to assess large-scale spatial abilities. *Computers in Human Behavior*, 21, 243–253.
- Weaver, W. (1963) Some recent contributions to the mathematical theory of communication. Teoksessa C. E. Shannon & W. Weaver. *Mathematical theory of communication* (ss. 1–29). Champaign, IL: University of Illinois Press.
- Wexler, M. & van Boxtel, J. J. A. (2005) Depth perception by the active observer. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 431–438.

- Wiederhold, B. K. & Wiederhold, M. D. (2003) Three-year follow-up for virtual reality exposure for fear of flying. *CyberPsychology & Behavior*, 6, 441–445.
- Witmer, B. G. & Singer, M. J. (1998) Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7, 225–240.
- Zacharias, J. (2006) Exploratory spatial behaviour in real and virtual environments. *Landscape and Urban Planning*, 78, 1–13.
- Zanbaka, C., Babu, S., Xiao, D., Ulinski, A., Hodges, L. F. & Lok, B. (2004) Effects of travel technique on cognition in virtual environments. *Proceedings of the 2004 Virtual Reality*, March 27–31, Chicago, USA, 149–156.
- Zyda, M. (2005) From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, 38, 25–32.

Liitteet:

Liite 1. Koetehtävässä käytetty talo sekä esineiden ja äänitehosteiden kuvaus

Virtuaalisen talon pohjapiirustus, johon koetehtävä sijoittui. Talo ei ole oikeassa mittakaavassa. Numerot osoittavat esineiden sijainnin siinä järjestyksessä missä niitä piti etsiä. Kuvan alla on lueteltu esineet ja lähdetiedoston nimi sekä äänitehostetiedoston nimi sekä suluissa äänitiedoston lähde.



Esine:	Tiedosto:	Äänitiedosto:
1. Eiffel-torni	Eiffel.3ds	percussions/051_RideCymbal1 (SGI)
2. Boeing 747	747.3ds	jet-plane-lift-off2.aiff (CD)
3. Puistonpenkki	bench.3ds	percussions/041_LowFloorTom (SGI)
4. Tynnyri	55galdrm.3ds	trash-can-noise.aiff (CD)
5. Öljynporauslautta	oilrig.3ds	waves.aiff (CD)
6. Katulamppu	streetlt.3ds	percussions/052_ChineseCymbal (SGI)
7. Hengenpelastajan tuoli	lifechar.3ds	shower.aiff (CD)
8. Postilaatikko	mailbox.3ds	percussions/077_LowWoodBlock (SGI)
9. Purkka-automaatti	gummach.3ds	cash-register-short.aiff (CD)
10. Paloposti	hydrat.3ds	toilet-water-short.aiff (CD)
11. Sieni	mushroom.3ds	electronic-effect2.aiff (CD)

Liitetaulukko 1. Erilaisten liikkumistapojen vertailu liikemittareina käytettyjen muuttujien suhteen validoinnin vuoksi puolitetuille aineistoille tehdyissä ryhmittelyanalyysissä (keskihajonnat suluissa). Sijainnin entropiaa ei käytetty ryhmittelevänä muuttujana. Ryhmät on nimetty sen mukaan, mitä koko aineistolle tehdyn ryhmittelyanalyysin liikeryhmää kukin ryhmä sisällöllisesti vastaa.

Liikemittarit	Ryhmien sisällöllinen vastaavuus koko aineistoon nähden											
	1	2	3	4								
	Sujuva liikkuminen, mutta paikallaan	Sujuva liikkuminen	Paikallaan olijat	Huono hallinta								
	n = 19	n = 7	n = 4	n = 4	df1,df2	F	n = 14	n = 6	n = 11	n = 3	df1,df2	F
Suunnan- muutoksen entropia ^{a/b}	2.56 (0.18)	2.64 (0.25)	2.29 (0.13)	3.07 (0.16)	3,30	11.89***	2.79 (0.23)	2.29 (0.07)	2.59 (0.11)	3.28 (0.23)	3,7	24.32***
Nopeuden entropia ^{a/a}	2.26 (0.19)	2.56 (0.35)	1.66 (0.15)	2.57 (0.13)	3,30	15.93***	2.62 (0.32)	2.04 (0.15)	2.21 (0.28)	2.98 (0.41)	3,30	11.13***
Pysähdysten lukumäärä ^{b/a}	72.21 (19.85)	37.71 (19.22)	119.25 (34.88)	130.00 (58.69)	3,6	6.47*	72.43 (43.55)	82.67 (21.41)	108.27 (27.24)	183.33 (11.06)	3,30	9.65***
Paikallaan olo (%) ^{a/b}	46.59 (4.88)	21.21 (11.93)	62.73 (3.31)	28.46 (6.48)	3,30	40.62***	22.28 (13.15)	58.96 (4.61)	47.14 (7.05)	25.95 (12.38)	3,8	25.37***
Keski- kiihtyvyys ^{a/a}	0.17 (0.05)	0.10 (0.01)	0.17 (0.04)	0.14 (0.03)	3,30	5.61**	0.13 (0.04)	0.26 (0.07)	0.17 (0.07)	0.33 (0.05)	3,30	14.97***
Sijainnin entropia ^{b/a}	5.18 (0.21)	5.47 (0.57)	4.94 (0.07)	5.50 (0.30)	3,10	2.95+	5.60 (0.41)	5.00 (0.24)	5.31 (0.25)	5.69 (0.26)	3,30	5.73**

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$, + $p < .10$

^a Käytetty yksisuuntaista varianssianalyysia

^b Käytetty Brown-Forsythen testiä

Liitetaulukko 2. Kokemuksen osakomponentit eri liikkumistapoja edustavien ryhmien suhteen. Taulukossa on esitetty keskiarvot sekä keskihajonta (suluissa) sekä ryhmien välisiä eroja tarkastelevan varianssianalyysin tulokset.

	Ryhmät				F (3,64)
	1	2	3	4	
	Sujuva liikkuminen	Sujuva liikkuminen, mutta paikallaan	Huono hallinta	Paikallaan olijat	
Kokemuksen osakomponentit	n = 20	n = 24	n = 10	n = 14	
Taito	0.26 (0.90)	-0.24 (0.89)	-0.53 (0.88)	0.45 (0.99)	3.32 *
Haaste	0.04 (1.04)	0.12 (0.88)	0.09 (1.07)	-0.33 (0.75)	0.78
Kontrolli	0.20 (0.72)	-0.05 (0.91)	-0.43 (0.88)	0.22 (0.82)	1.60
Ahdistuneisuus	-0.38 (0.82)	0.04 (0.86)	0.38 (0.82)	-0.02 (0.55)	2.27 +
Leikkisyys	0.22 (0.97)	0.06 (0.92)	-0.48 (0.87)	-0.08 (0.76)	1.45
Mielekkyyys	0.19 (0.89)	0.05 (1.06)	-0.49 (0.63)	0.02 (0.73)	1.34
Mielihyvä	0.31 (0.99)	-0.02 (1.01)	-0.47 (0.61)	-0.07 (0.86)	1.63
Aitous	0.47 (0.96)	-0.07 (0.82)	-0.40 (0.61)	-0.34 (0.81)	3.70 *
Avaruudellisuus	0.27 (1.03)	-0.06 (0.84)	-0.41 (0.86)	0.07 (0.84)	1.31
Keskittyminen	0.24 (0.87)	-0.02 (0.95)	-0.21 (0.98)	-0.16 (1.10)	0.67
Personalisaatio	0.39 (0.86)	0.03 (0.85)	-0.24 (0.55)	-0.56 (0.83)	4.06 **
Siellä olo	0.25 (0.92)	0.09 (0.75)	-0.34 (1.19)	-0.26 (1.05)	1.34
Toiminta	0.33 (1.03)	-0.10 (0.82)	-0.40 (0.92)	-0.01 (0.83)	1.66
Vire	0.23 (0.67)	-0.01 (0.77)	-0.33 (0.67)	0.17 (0.74)	1.50
Vuorovaikutteisuus	0.51 (0.79)	-0.18 (0.96)	-0.24 (0.52)	-0.24 (0.97)	3.34 *
Ympäristön tutkiminen ^a	0.14 (1.02)	0.13 (0.75)	-0.24 (0.51)	-0.07 (0.73)	0.77
Häiritsevyyys	-0.39 (0.84)	0.25 (0.63)	0.19 (0.79)	-0.02 (0.82)	2.83 *
Pahoinvointi ^a	0.24 (1.24)	-0.16 (0.72)	0.18 (1.04)	-0.21 (0.67)	1.01
Väsytys ^a	0.05 (0.53)	-0.04 (0.67)	0.36 (2.02)	-0.26 (0.41)	0.57

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$, + $p < .10$

^a Käytetty Brown-Forsythe-testiä